

サッカーゴールキーパーのダイビングにおけるシュートコースの違いに伴う特性

著者	松倉 啓太
発行年	2014
学位授与大学	筑波大学 (University of Tsukuba)
学位授与年度	2013
報告番号	12102甲第7075号
URL	http://hdl.handle.net/2241/00124421

博士論文

サッカーゴールキーパーの
ダイビングにおける
シュートコースの違いに伴う特性

平成25年度

筑波大学大学院

人間総合科学研究科

コーチング学専攻

松倉 啓太

目次

第1章	序論	・ ・ ・	1
	I. 研究の背景	・ ・ ・	2
	1.1 ゴールキーパーについて	・ ・ ・	2
	1.2 ゴールキーパーの動作に関する研究	・ ・ ・	5
	1.3 ゴールキーパーのダイビングについて	・ ・ ・	5
	1.4 ゴールキーパーのダイビング動作に関する研究	・ ・ ・	7
	1.5 まとめ	・ ・ ・	14
	II. 研究の目的	・ ・ ・	16
	III. 本論文の構成と研究課題	・ ・ ・	17
	IV. 用語の定義	・ ・ ・	19
	IV. 関連論文	・ ・ ・	20
第2章	サッカーのGKのダイビングにおける到達可能範囲	・ ・ ・	21
	I. 緒言	・ ・ ・	22
	II. 方法	・ ・ ・	24
	2.1 実験	・ ・ ・	24
	2.2 データ処理	・ ・ ・	27
	2.3 測定項目および算出法	・ ・ ・	28
	2.4 統計処理	・ ・ ・	29
	III. 結果	・ ・ ・	30
	3.1 ボールまでの到達時間	・ ・ ・	30
	3.2 ボールへの移動速度	・ ・ ・	30
	3.3 ボールへの手の移動軌跡	・ ・ ・	33
	3.4 シュートに対する到達範囲	・ ・ ・	41
	IV. 考察	・ ・ ・	43
	4.1 ボールまでの到達時間	・ ・ ・	43
	4.2 ボールへの移動の特徴	・ ・ ・	43
	4.3 シュートに対する到達範囲	・ ・ ・	48
	V. まとめ	・ ・ ・	51
第3章	サッカーのGKにおけるダイビングの地面反力発揮特性	・ ・ ・	52
	I. 緒言	・ ・ ・	53
	II. 方法	・ ・ ・	55
	2.1 実験	・ ・ ・	55
	2.2 データ処理	・ ・ ・	57
	2.3 平滑化	・ ・ ・	58
	2.4 測定項目および算出法	・ ・ ・	60
	2.5 統計処理	・ ・ ・	66
	III. 結果	・ ・ ・	67
	3.1 ボールまでの到達時間	・ ・ ・	67
	3.2 身体重心位置の推移	・ ・ ・	67
	3.3 地面反力	・ ・ ・	71
	3.4 関節トルクと角速度	・ ・ ・	81

IV. 考察	・ ・ ・	94
4.1 踏切開始からボールタッチまでの動作時間	・ ・ ・	94
4.2 ダイビングにおけるそれぞれの脚の地面反力の発揮特性	・ ・ ・	95
4.3 高さの違いに伴うキネティクスの特性	・ ・ ・	97
4.4 距離の違いに伴うキネティクスの特性	・ ・ ・	99
4.5 股関節の内外転トルクによる力発揮	・ ・ ・	101
V. まとめ	・ ・ ・	104
第4章 サッカーのGKにおけるダイビングのシュートコースの違いに 応じた地面反力の発揮方向の変化を生むメカニズム	・ ・ ・	106
I. 緒言	・ ・ ・	107
II. 方法	・ ・ ・	109
2.1 実験	・ ・ ・	109
2.2 測定項目および算出法	・ ・ ・	109
2.3 統計処理	・ ・ ・	109
III. 結果	・ ・ ・	111
3.1 フォースプレート上での接地時間	・ ・ ・	111
3.2 身体重心速度 (CGV)	・ ・ ・	113
3.3 下肢関節角度の推移	・ ・ ・	118
IV. 考察	・ ・ ・	123
4.1 踏切に要する時間の違い	・ ・ ・	123
4.2 高さ・距離の違いに伴うCGVの推移の変化	・ ・ ・	124
4.3 重心の移動方向の変化を生む下肢動作の違い	・ ・ ・	125
V. まとめ	・ ・ ・	128
第5章 総括	・ ・ ・	129
I. 結論	・ ・ ・	130
II. まとめ	・ ・ ・	134
III. 今後への課題	・ ・ ・	139
引用文献	・ ・ ・	140
謝辞	・ ・ ・	144

第 1 章

序論

I. 研究の背景

1.1 サッカーのゴールキーパーについて

サッカーのゴールキーパー（GK）は 11 人の選手の中で唯一、自陣のペナルティエリア内で手を使うことが許されているポジションである。通常自陣の最後方にポジションをとり、相手の攻撃を防ぐ役割を担っている。そして現在の GK に求められる役割は大きく変化してきており、キャッチングやセービングという守備の局面においてのみ気を配るだけではなく、攻撃に関わるプレーへの貢献も期待されている（Dooley and Titz, 2011）。実際に 2008 年ヨーロッパ選手権の準々決勝以降における 7 試合の GK のプレーを調べると、守備に関わるプレーの総数は 217 回であるのに対して、攻撃に関わるプレーの総数が 290 回であった（Szwarc *et al.*, 2010）。このことから現代の GK は、守備をはじめ、攻撃にも高い水準で関わることを求められていると考えられる。

『サッカー指導教本・ゴールキーパー編』（財団法人日本サッカー協会，2007）において「ゴールキーパーのスキル」は、守備時と攻撃時のスキルに分けて示されている（Fig. 1-1）。これをみると、GK は守備の局面において、シュートを打たれる前の「ボールなしの時」に、状況に応じて 8 つのスキルを用いてシュートに対する準備を行っているといえる。そしてシュートを打つ選手との距離、角度、また放たれたシュートの速度、コース、天候、グラウンドコンディションなどに応じて 5 つのスキルの中から適した対処のスキルを選択していると考えられる。

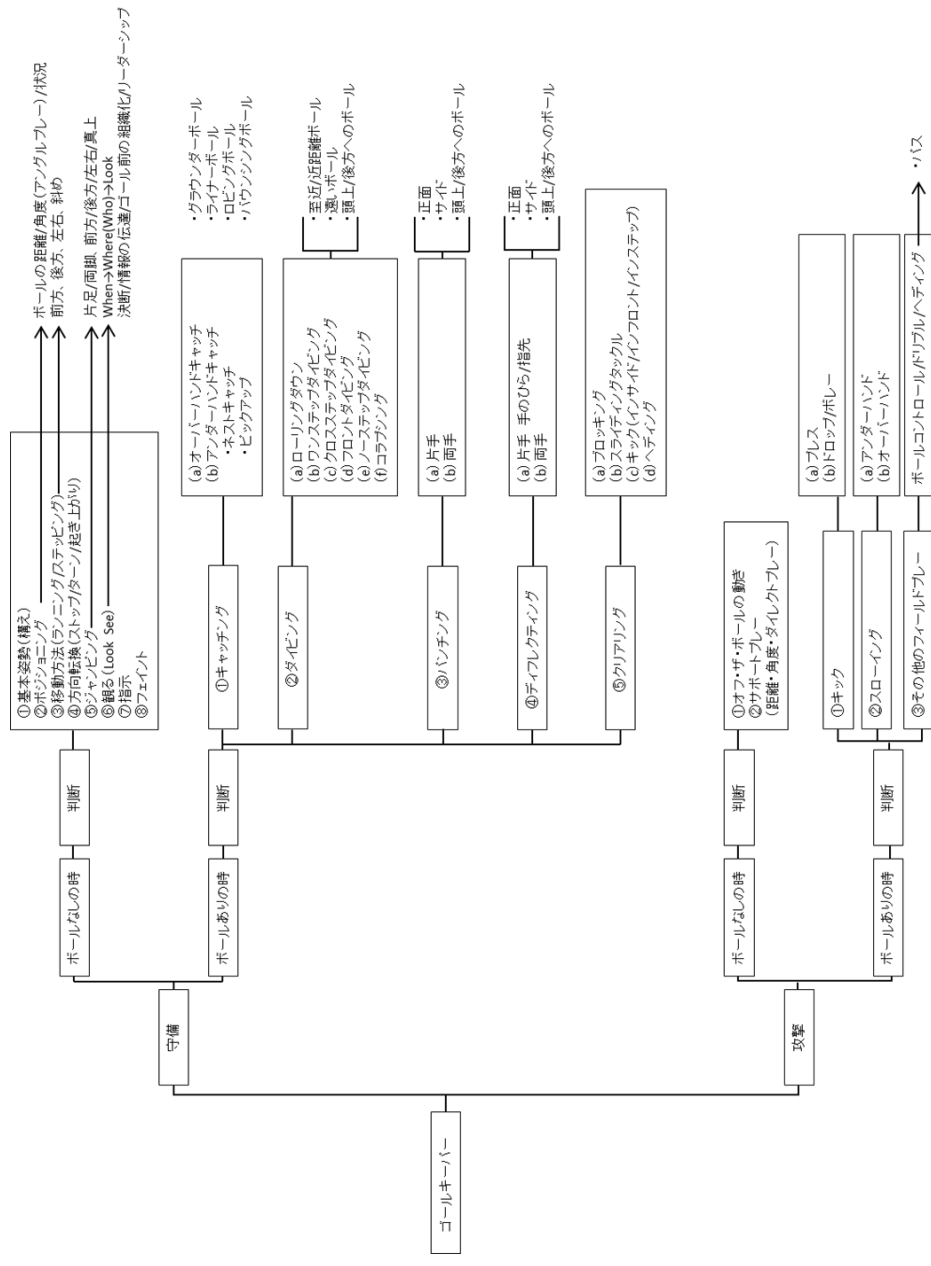


Fig. 1-1 Skills of goalkeeper.

GK のゲームにおける動きの内容について、Di. Salvo *et al.* (2008) は、109 試合のイングランドプレミアリーグの試合を対象に GK の 1 試合における移動の距離、速度を研究した。その結果、トータルでは平均 $5,611 \pm 613\text{m}$ の移動を行い、そのうち 73 パーセントはウォーキング (時速 0.3km から 7km) であったのに対して、高い強度の移動 (時速 19.9km 以上) は 2 パーセントであった。ただしゲームの最終的な結果は高い強度のアクションによって左右されるとしており、トレーニングにおいては高い強度の運動と技術要素を組み合わせることが必要であることを示唆している。しかし、Sørensen *et al.* (2008, 2010) は、6 人のデンマークリーグに所属している選手を所属チームのカテゴリーごとに分けて、6 つの体力テストの結果 (体力的パラメーター) と GK のレベル (どのレベルのカテゴリーのチームに所属しているか) との関係を検証した。その結果、両者に有意な関係性はみられず、体力的パラメーターは、技術や戦術的理解、知覚や予測と比べて選手を評価する上での価値は低いと述べている。ただし、この研究では被験者の所属チームのカテゴリーは異なるが、全員がプロリーグに所属しているため、ある程度の高い体力を既に有していたことが推察される。そのため、一概に「体力は GK のレベルと関係がない」という判断はできない。また、Lees and Nolan (1998) は、「GK がゴールを防ぐための技術は非常に重要であり、相手の攻撃を予測し、それに応じたポジションをとる必要があり、習熟しなくてはならない技術はたくさんある」と指摘している。よって GK は、体力だけでなく技術的な要素や戦術的理解、予測などの要素も大きく求められるポジションであると考えられる。

1.2 GKの動作に関する研究

これまでのサッカーにおける動作分析的研究では、その多くがキック動作に関するものである（例えば、Zernicker and Roberts, 1978; Asami and Nolte, 1983; Nunome *et al.*, 2002; レビューとして Kellis and Katis, 2007; Lees *et al.*, 2010）. 他には、山口ら（2004）によって、タックル動作の研究が行われている. その中で GK の動作に関する研究として、ダイビングに先行する構えの局面について、中屋敷ら（1981）は、GK 鍛錬者 2 名、非鍛錬者 2 名の 4 名を被験者とし、ゴールラインから 11m と 16.5m 離れた位置から放たれるシュートに対する構えの形態を撮影し、分析を行った. その結果、鍛錬者は完全な前傾姿勢であり、構えの深さを膝関節角度と体の前傾で調節しているが、非熟練者は不完全な前傾もしくは後傾姿勢であり股関節角度によって構えの深さを調整していることを報告している. また玉井・松本（1981）は、大学サッカー部員 11 名（GK 熟練者 7 名、未熟練者 4 名）を被験者とし、プレジャンプ（GK のダイビングに先立つ事前ジャンプ）を伴う動的な構えと、プレジャンプを伴わない静的な構えの両方の構えから、前方に設置された刺激ランプの点灯を合図に、示された方向に吊るされたボールをキャッチさせる実験を行った. その結果、プレジャンプを行うことが有効であることを指摘している.

1.3 GKのダイビングについて

サッカーにおいて GK は唯一手を使い相手のシュートを防ぐことのできるポジションであり、守備の局面で大きな役割を果たしていることは既述の通りである. そして GK は、ゲームの中で相手のシュートに常に立位の移動で対処できるわけではない. インステップ

キックは、蹴られたボールが時速 100km を超えることがあり (Nunome *et al.*, 2002), GK はそのようなシュートから縦 2.44m, 横 7.32m のゴールを守る必要があるため, ダイビングの技術が必要となってくる. このダイビングをウェルッシュ (2005) は, 「緊急時のプレーである」と述べており, Mulqueen and Woitalla (2010) は, 空中を跳んでボールを止めるプレーは, スポーツの中でも最も目を見張るプレーの 1 つであり, ダイビングセーブには体の強さとパワーが必要であると指摘している. さらに GK は, 一試合に 3 回以上のセービングを行う必要があり, これら動きは非常に爆発的であり, 頻繁に速い動きを繰り返すアクロバティックな動作であると述べられている (ドナルド, 2011). また, 浅井・布目 (2002) は, その重要性や華麗さにおいてダイビングによるセーブ技術は GK の真価を問うものに他ならないと述べている. これらより GK が相手チームの決定的なシュートをダイビングで防ぐことができるか否かは, 得点を決められるかどうかに関係し, 1 つの試合において極めて重要なプレーであると同時に, その動作自体が見るものにとって, 大きな魅力となり得る動作の 1 つであると考えられる.

これまでの先行研究ならびに指導書では, ここまで述べてきたダイビングについて, 「ダイビング」と, 「セービング」という異なる表現で記述しているものがある. どちらも述べられている内容から判断すると, いわゆる体を横にして跳ぶことによって, シュートを防ぐという動作に変わりはない. Fig.1-1 の「ゴールキーパーのスキル」の中では, ダイビングという項目の中で 6 種類の手法に分類されている⁽¹⁾.

⁽¹⁾ 6 種類のうち, (f) フロントダイブは, シュートへの対処方法ではなく, 相手チームのスルーパスやドリブルでの侵入, またはルーズボールに対して, 前方へダイビングを行いながらボールを処理する手法であり, ダイビングによるシュートへの対処手段は 5 種類といえる

また、加藤（2004）は、「踏み切り脚で地面をけて体を投げ出すのがダイビングになる」と述べている。これらをまとめると、ダイビングは、「体を横にして踏み切り脚で地面をけて跳ぶことによって、シュートを防ぐ動作」と表現することができるであろう。

1.4 GK のダイビングに関する研究

これまで GK のダイビングに関する研究は少なく、技術分析が十分に行われているとは言い難い。少数ではあるが、これまでのダイビングに関する研究を概観する。

ダイビングと GK の能力の関係に関して、永都（1980）は、2 名の大学生（1 名は GK 経験者）を被験者に、ペナルティキックの距離からキックマシーンによって放出された異なる速度のボールに対してのダイビングを分析した。その結果、経験者の方が、ダイビングの原則とされる「体を横にして跳ぶ」という点と、「ボールに対して一直線に跳ぶ」という点について、優れた動きを見せたと報告している。

浅井ら（1982）は、大学サッカー部員 4 名を被験者に、フォースプレート上から、高さの異なるボール（高さは 0m, 0.95m, 1.9m, ボールまでの距離は 2.1m）に対し、各高さに対応したランプの点灯を合図にダイビングで向かわせた。そこから動作が開始されてからフォースプレート離地までの動作時間、フォースプレートを離れてからボールに触れるまでの滞空時間、動作が開始されてからボールに触れるまでのプレー時間、地面反力、体幹の角速度を測定した。その結果、GK から横に、同じ距離だけ離れた所へシュートされたとしても、シュートの高さによってプレー時間が異なり、特に低いボールに対してはプレー時間が長かったと報告している。また、プレー時間の短かった被験者は、体幹の角

速度のピークと、地面反力のピークが、時間的に接近している傾向を示し、「ダイビングにおける体幹の回転運動は、ボールへの到達時間を短くするための重要な要素となっている」と報告している。

また、Suzuki *et al.* (1988) は、日本リーグに在籍する 2 名の GK を上位群、大学生の 2 名の GK を下位群とし、予め設置した高さの異なるボール（高さは 0.3m, 0.9m, 1.5m, ボールまでの距離は 2.5m）に対して、フォースプレート上からダイビングで向かわせ、重心の位置、ならびに重心移動速度を測定した。その際、被験者にはシグナルによってランダムに指示される方向へ、ダイビングで向かうことが指示されていた。その結果、離地時の重心移動速度は、ボールの高さが 0.3m の試技においては、水平方向は、上位群が 4.74m/s, 下位群が 3.23m/s, 鉛直方向は、上位群が -1.22m/s, 下位群が -0.11m/s であった。ボールの高さが 0.9m の試技においては、水平方向は、上位群が 4.14m/s, 下位群が 3.24m/s, 鉛直方向は、上位群が -0.33m/s, 下位群が 0.43m/s であった。ボールの高さが 1.5m の試技においては、水平方向は、上位群が 3.78m/s, 下位群が 2.91m/s, 鉛直方向は、上位群が 1.21m/s, 下位群が 1.30m/s であった。また、両方向の速度より算出した、重心移動ベクトルは、上位群の方が、よりボール方向へ直線的に向かっていた。よって効果的なダイビングを行うためには、重心の移動速度をより高めることと、より直線的にボールへ向かうことが重要であると報告している。

磯川・佐久間 (1985) は、「ゴールキーパーのセービングにおける力学的エネルギーは構えた状態から身体の重心をボールの方へ移動させる外的エネルギーと、身体をボールの方へ倒す重心まわりの回転エネルギーとしての内的エネルギーから成り立っていると考え

られる」と述べている。そして日本リーグに在籍する GK4 名と大学リーグに所属する GK4 名に、高さの異なるボール（高さは 0.3m, 0.9m, 1.5m, ボールまでの距離は 2.5m）へダイビングで向かわせ、3 方向の地面反力のデータを測定した。その結果、GK が横方向へより速いダイビングを行うためには、プレジャンプ後の着地によって、腰・膝・足首の屈曲した関節をいっきに伸展させることによる外的エネルギーを大きくすることと、身体を構えの姿勢からボール方向へ倒す内的エネルギーを大きくすることが重要であると報告している。

Graham-Smith and Lees (1999) は、セミプロ、大学生、15 歳以下のユース選手を被験者に、ゴールラインから 11m 離れた位置に設置されたキックマシーンによって放たれたボールへダイビングで向かわせる実験より、動作時間を検討した。その結果、GK から離れたシュートへは到達に時間がかかること、また、ゴール中ほどの高さのシュートまでは、到達が早く、ボールまでの手の移動距離が短かったことを報告している。さらにシュートコースの違いに伴う、ボールへ向かう動作を検討し、8 つに分類した (Fig. 1-2)。

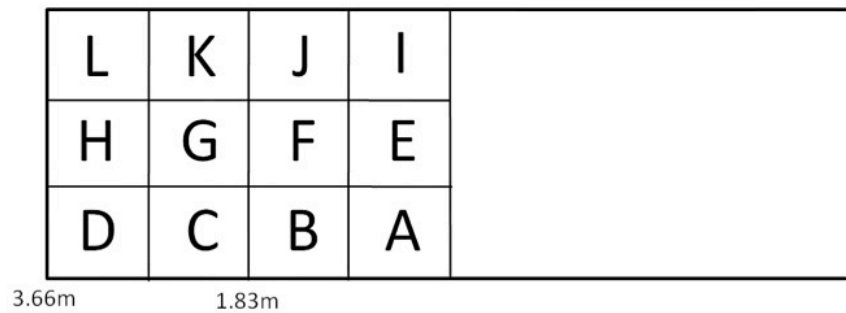
Spratford *et al.* (2009) は、6 名の 20 歳以下のナショナルチームの選手を被験者に、高さの異なるボール（高さは 0.3m で、ボールまでの距離は、2.36m, 高さは 0.9m で、ボールまでの距離は 2.5m, 高さは 1.5m で、ボールまでの距離は 2.78m）へダイビングで向かわせる実験⁽²⁾を行い、各被験者の得意なサイドと、苦手なサイドの動作を比較した。その結果、苦手なサイドでは、initiation の期間⁽³⁾において、骨盤と胸部の側部の回転がよりみられたこと、また、苦手なサイドでは膝関節の伸展の働きが大きく、足関節の伸展は小さく、得意なサイドよりも、高さ 0.3m のボールで 34cm, 高さ 0.9m のボールで 31cm,

高さ 1.5m のボールで 9cm も余計に重心移動を行っていたことを報告している．さらにダイビングのパフォーマンスを検討する際に，これまでは離地時の重心移動速度で判断していたが，直線的にボールに向かっているかの指標として，**net projection angle** ⁽⁴⁾ という角度を同時に検討することで，パフォーマンスをより正確に検討できると述べている．

⁽²⁾ 被験者は，あらかじめセットされているボールに対して，フォースプレート上から離地することが指示されていた．なお，動き出しの位置は，被験者自身がボールに届くように設定することが指示されていたために，ボールまでの距離が高さによって異なっていた．

⁽³⁾ この研究においては，地面反力のデータを基に，動作時間を 3 つの局面に分類していた．それぞれ地面反力が上昇し続けている期間を **initiation**，地面反力が減少し始め，0 になるまでの期間を **take off**，ボールにタッチするまでの期間を **ball contact** とした．

⁽⁴⁾ **net projection angle** は，地面離地時の重心とボールを結んだ直線と，地面離地時の重心と 1 コマ前の重心位置とを結んだ直線とが作る角度である．



- <A>Goalkeepers collapsed both legs as a mean to drop the body to the ground.
- <E•I>Goalkeepers made either right-legged or two-footed takeoffs to get their body in line with the ball.
- <B•F>The right foot moved away from the ball then supported the dive.
- <G•J•K>A small step to the right was followed by a dive from the right foot.
- <C>The dive was initiated from the left leg.
- <D>The goalkeepers made a small step to the right before pushing off the right leg.
- <H>Required the goalkeeper to make a crossover step with the left leg.
- <L> Required two crossover step taking off from the right leg.

Fig. 1-2 Reference drawing. Quoted from 「Graham-Smith, P. and Lees, A. (1999) Analysis of technique of goalkeepers during the penalty kick. J Sports Sci., 19: 916.」 .

Kerwin and Bray (2006) は、2 名の経験者の GK を被験者に、ペナルティキックの距離である 11m 離れた位置に設置された電動ボールランチャーより放たれたボールへダイビングで向かわせ、別にビデオ撮影した GK のダイビングとカウンタームーブメントジャンプ (CMJ) の跳躍高から、ペナルティキック時におけるダイビングの移動範囲を検討し、ゴール中央下端を中心とする同心円状の形をした移動範囲図を示している (Fig. 1-3). 図中の黒の実線で描かれた長方形は、ゴールの外枠 ($2.44\text{m} \times 7.32\text{m}$) を、グレーのアーチは、CMJ の離地速度と到達点より推測された到達範囲を示している. また、中心から左右にずれている点線の 2 つのアーチは、離地前に 1 歩ステップを入れた場合に到達可能であると推測される範囲を示しているが、ステップによる離地までの時間の延長は考慮されていない. 一方、黒のアーチは、それらステップに要すると考えられる時間を考慮したうえでの最大到達範囲を示している. しかし、この研究ではビデオ撮影した GK の動作と、CMJ の跳躍高および地面反力のデータをもとに作られた移動範囲であったため、実測値の得られていないエリアの到達範囲については推測値となっており、必ずしも全てが実証的データに裏付けられたものではなかった.

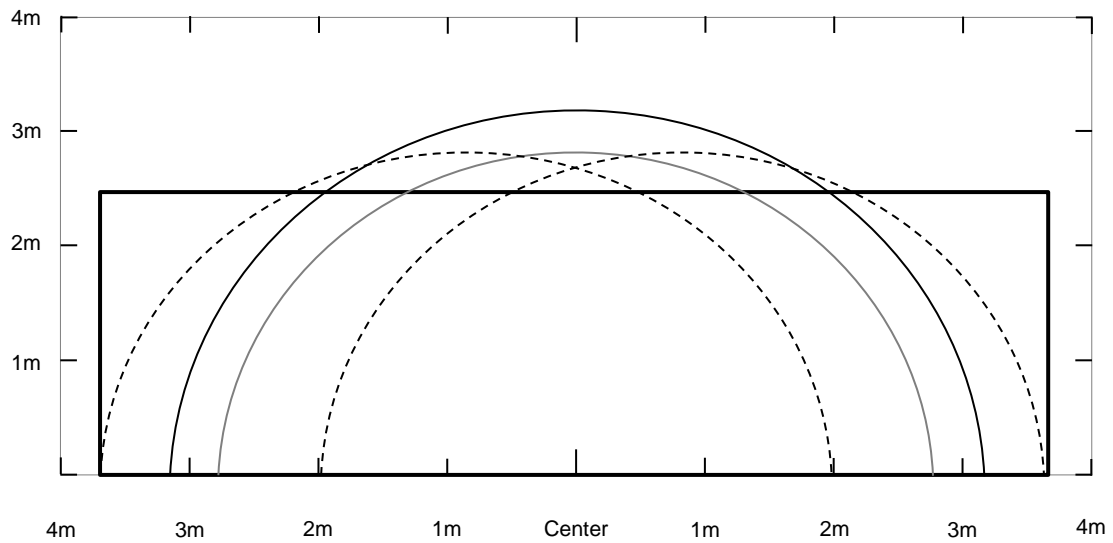


Fig. 1-3 Reference drawing. Quoted from 「Kerwin, D.G. and Bray, K. (2006) Measuring and modelling the goalkeeper's diving envelope in a penalty kick. In: Moritz, E.F. and Haake, S. (Eds.) *The Engineering of Sport* 6:321-326.」 Image=zones of the goal which the model predict can be covered. Black rectangle: goal area; Black arch: limit of the goalkeeper's dive; Grey arch: CMJ reach; Dotted arch: CMJ arch \pm 1m step prior to takeoff.

また、これまでのダイビングに関する研究では、静止しているボールへのダイビングを分析対象にしていることが多い。この点が、実際のシュート場面と異なることは明らかであるものの、実験において時速 100km を超えるシュートを何度も同じ速度、コースに再現することは非常に困難である。シュートコースが異なると、発揮される力、動作に違いが生じることから、実際に飛行するボールに対するダイビング動作分析は、これまでみられない。また、予め設置してある静止球に向かう場合と、飛行してくるボールへ向かう場合では、上半身の向き、下肢の内外旋、手の運びなどに違いが生じると推察される。

1.5 まとめ

これまでの GK のダイビングに関する研究をまとめると、まず競技レベルの高い群が、ダイビングの技術が高いということが明らかになった。そして、ダイビングの推進力を生む要素として、下肢の関節の伸展させることと、体幹を回転させることによって、ボール方向へ体を倒すことがあげられた。また、パフォーマンスをはかる上で、重要なポイントとして、離地時の重心速度が大きいことと、重心をボールに対して直線的に動かすことの 2 点があげられた。よってこの 2 点の要素の向上が、GK のダイビングにおけるパフォーマンス向上につながり、同じ時間でより広い範囲のシュートを防ぐことができるようになると考えられる。

しかしながら、これまでのダイビングの研究では、各脚、各関節が、それぞれどのような大きさを発揮しているのかということは明らかになっておらず、ボールの高さの違いや、ボールまでの距離の違いに応じた具体的な力発揮の特性を明らかにするまでは至っ

ていない。また、ボールに対して直線的に重心を運ぶためには、どのような動作が必要になるのかということも、指導の現場に対して有益な示唆を示すことができていない。

また、ダイビングによって到達できる範囲に関しては、複数の先行研究より、GK から同じ距離に放たれたシュートであっても、高さによって到達時間に差が見られるということが示されている。その中でも、浅井ら（1982）は、低いボールの方が、ボールまでの到達時間が長く、Graham-Smith and Lees（1999）は、ゴール中ほどの高さがボールまでの到達が早く、手の移動距離も短かったとしている。一方、Kerwin and Bray（2006）のペナルティキック時の到達範囲の図（Fig. 1-3）では、GK から同じ水平距離では、低い位置ほど守れる範囲が広いとされており、それぞれの論で一致していない部分がみられる。このように、シュートの高さ、および距離の違いがダイビングのパフォーマンスにどのように影響するのかということについては、まだ明らかになっていない。

Ⅱ．研究の目的

本研究は、サッカーの GK におけるシュートコースの違いに応じたダイビングの指導への知見を得るために、高さ・距離の異なるボールへのダイビングを分析対象とし、まずシュートコースの違いによって、どのように到達できる範囲が変わるのかという移動の特性を明らかにする。そしてシュートコースの違いによって、それぞれの脚が、どのように力が発揮しているか、また、いつ、どのような動作により、力発揮方向が変化していくのかを明らかにしていく。

以上のことから本博士論文では以下の 3 点を研究の目的とする。

- ① サッカー GK のダイビングにおける一定時間の移動範囲を、詳細な実証的データから求め、高さ・距離の違いに応じた GK のダイビングにおける到達可能範囲の違いを明らかにすること。
- ② サッカー GK のダイビングにおける高さ・距離の違いに伴う、それぞれの脚で発揮される地面反力発揮のメカニズムを明らかにすること。
- ③ サッカー GK のダイビングにおける高さ・距離の違いに伴う、地面反力の発揮方向の違いが生じるメカニズムを明らかにすること。

Ⅲ．本論文の構成と研究課題

第 1 章

「序論」

本章は，これまでの GK のダイビングの先行研究から，現在のダイビングの研究の現状と課題を明らかにする．さらに，そこから本研究で明らかにすべき課題を示す．

第 2 章

「サッカーの GK のダイビングにおける到達可能範囲」

第 2 章では，GK のダイビングにおいてボールの高さ・距離の違いに伴う，到達時間の違いや移動軌跡を分析し，ボールの高さ・距離の違いが，ダイビングによって到達できる範囲にどのような影響を与えるのか，そしてどのようなコースのシュートを防御することが難しいのかという知見を得ることを課題とする．

第 3 章

「サッカーの GK におけるダイビングの力発揮特性」

第 3 章では，GK のダイビングにおいてボールの高さ・距離の違いに伴う，地面反力と下肢の関節トルク，関節角速度，関節トルクパワーを分析し，力発揮の特性を明らかにすることを課題とする．

第 4 章

「サッカーの GK におけるダイビングのシュートコースの違いに応じた地面反力の発揮方向の変化を生むメカニズム」

第 4 章では、第 3 章によって明らかにされた、力発揮の特性について、第 3 章と同一データを用いて、身体の 3 次元座標を求め、重心移動、関節角度の比較検討より、それぞれの高さによって発揮される地面反力の方向が、いつ、どのように変化するのかを明らかにすることを課題とする。

第 5 章

「総括」

第 5 章では、2 章から 4 章の結論と、それらより導かれたまとめ、今後の課題を記述する。

IV. 用語の定義

本研究を通じて使用される基本的な用語の定義を以下に示す.

- ダイビング

本章 1-3 で示した通り, 本研究では, 「体を横にして踏み切り脚で地面をけて跳ぶこと
によって, シュートに対処し, ゴールを防ぐ動作」と定義する.

- Near Diving と Far Diving

実験試技において, GK から横へ 1.83m 離れた位置に設置したボールへのダイビングを
Near Diving とし, 同じく 3.50m 離れた位置に設置したボールへのダイビングを Far
Diving とする.

- Upper 試技, Middle 試技, Lower 試技

実験試技において, 地面から 2.20m の高さに設置したボールへのダイビングを Upper
試技, 同じく 1.22m の高さに設置したボールへのダイビングを Middle 試技, 地面に敷い
たセーフティーマット上に設置したボールへのダイビングを Lower 試技とした.

- BS 脚, CS 脚

実験試技において, ボール側の脚を BS 脚, ボールと反対側の脚を CS 脚とした. すな
わち右方向へダイビングを行う際は, 右脚が BS 脚, 左脚が CS 脚となる.

V. 関連論文

第 2 章の内容は以下に示した既発表論文に基づいてまとめられた.

松倉 啓太・浅井 武 (2009)「サッカーのゴールキーパーにおけるダイビング動作の到達可能範囲」 体育学研究, 54: 317-326 .

また, 第 3 章の内容は以下に示した既発表論文に基づいてまとめられた.

松倉 啓太・浅井 武 (2013)「サッカーのゴールキーパーにおけるダイビング動作の力発揮特性」 体育学研究, 58: 277-296 .

第 2 章

「サッカーの GK の
ダイビングにおける到達可能範囲」

I. 緒言

相手選手によって放たれるシュートはゴールのあらゆる位置に飛来してくるため、GK にとっては、すべてのボールへ同じ時間で移動できるわけではなく、放たれたシュートの位置によって、同一時間においてボールまで到達できるか否かは変化する。これまで GK のダイビングにおける移動範囲を明らかにするため、浅井ら（1982）は、GK から同じ水平距離だけ離れた場所へシュートされたとしても、ボールの高さによってボールまでの到達時間が異なり、特に低いボールに対しては、時間がかかることを示した。また、Graham-Smith and Lees（1999）は、セミプロ、大学生、15 歳以下のユース選手を被験者に、11m 離れた位置に設置されたキックマシーンによって放たれたボールへダイビングで向かわせる実験より動作時間を検討し、GK から離れたシュートへは到達に時間がかかること、その中でも、ゴール中ほどの高さのシュートまでは到達が早く、ボールまでの手の移動距離が短かったことを報告している。一方、Kerwin and Bray（2006）は、ビデオ撮影した GK のダイビングと垂直跳びの跳躍高から、ペナルティキック時におけるダイビングの移動範囲を検討した。その結果、ゴール中央下端を中心とする同心円状の形をした移動範囲図（Fig. 1-3）を示している。この研究ではゴール下部により広く守備範囲が広がっており、浅井ら（1982）および Graham-Smith and Lees（1999）の報告と異なっている。しかし、この研究は、ビデオ撮影した GK の動作と、垂直跳びの跳躍高、地面反力のデータをもとに作られた移動範囲であった。よって、実測値の得られていないエリアの到達範囲については推測値となっており、必ずしも実証的データに裏付けられたものではないため、未だ明確なダイビングにおける移動の特性というものが明らかになっていない

といえる．そこで，GK のシュートに対する移動範囲を定量的に扱い，一定時間での移動範囲を記述することは，GK にとって防御手段を選択するための指標やトレーニングの指標だけではなく，攻撃側の選手にとっても GK の守りにくいエリアを把握する指標となり得ることから，実践的に大きな意義を持つ研究課題といえる．しかしながら，これまで GK のダイビングの一定時間での移動範囲を詳細な実証的データに基づいて明らかにする試みは行われていない．

そこで，本研究では，サッカーゴール内の 3 種類の高さ（Upper・Middle・Lower）に，2 種類の距離（Near・Far）でボールを設置し，ランダム方向に出される方向指示器の示すボールに GK をダイビングで向かわせる実験を行い，各ボールの位置（高さ・距離）に対するダイビングのボールへの到達時間，移動速度，ボールタッチした手移動軌跡を検討した．さらに，ダイビングにおける一定時間ごとの移動範囲図を作成することで，高さ及び距離の違いに応じた GK のダイビングにおける時間内移動可能範囲を明らかにしようとした．

II. 方法

2.1 実験

2.1.1 被験者

被験者は、大学サッカー部員の GK13 名で、身長の平均値は 179.8cm (SD=5.5)、体重の平均値は 73.0kg (SD=5.3)、また GK の経験年数の平均値は 10.5 年 (SD=3.5) であり、著しくダイビング技術が未熟な選手はみられなかった。

2.1.2 撮影

ゴール後方 20m にハイスピードカメラ (FASTCAM-1024PCI model 100KC, フォトロン社製) をセットし、画角にはゴール全体と被験者の両方が入るようにした。そして、方向指示直前から被験者がボールタッチし終えるまでを毎秒 250 フレームで撮影した。

2.1.3 方向指示器

方向指示器の発光部分は LED (赤・緑・黄) を用い、屋外の実験でも十分な明るさがあった。方向指示器の中心部は、緑・黄の LED で作られており、約 1 秒間で徐々に中央の四角形が小さくなっていくことで方向指示のタイミングを提示している。中央の四角形が消えると同時に、8 方向 (左上, 左中, 左下, 中央上, 中央下, 右上, 右中, 右下) のいずれかが点灯する。点灯する方向については、PIC (Peripheral Interface Controller : 周辺機器接続制御用 IC -16F877, マイクロチップ社) で、8 方向のうちランダムに 1 方向が決まるようにプログラミングした (Fig.2-1)。

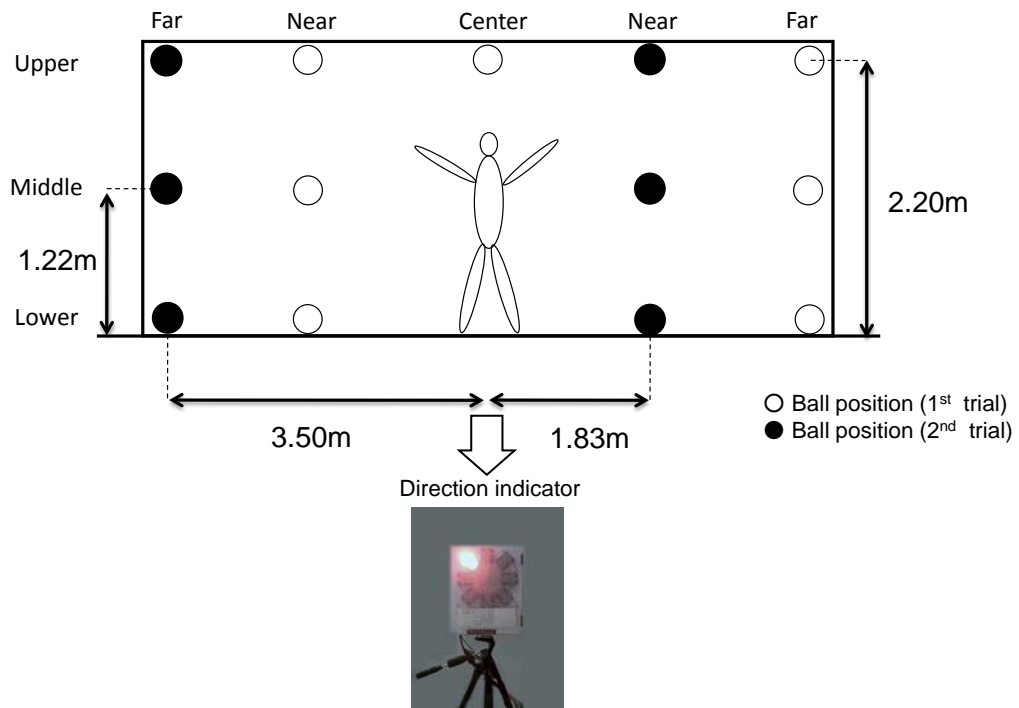


Fig. 2-1 Positions of Balls in the experiment. (photo refers to the directional indicator used in the experiment)

2.1.4 ボールの設置

本実験では、ダイビングの際にゴールポストに衝突してしまう危険を防ぐため、ペンデルボール（ペレーダテッサー, PFTR, モルテン社）をゴールラインからボールが 50cm 前方に位置するよう設置した。Lower 試技についてはグラウンド上に同じくゴールラインからボールが 50cm 前方に位置するようサッカーボール（ペレーダ, PF405, モルテン社）を設置した。

2.1.5 実験試技

被験者は、実際のシュートに対する場面を想定してサッカーゴール（2.44m×7.32m）の中央に立ち、前方の実験補助者が持つ方向指示器に対峙して構えた。そして、方向指示器が示すタイミングにあわせて、示された方向に設置されたボールへ手が届くようダイビングで向かった。ただし、中央下が示された時のみ、ダイビングは行わず、次の試技へ移ることとした。ボールの位置は左右（2 パタン）×Near・Far（2 パタン）×Upper・Middle・Lower（3 パタン）の 12 カ所と、Center（ゴール中央上部）の計 13 カ所とした（Fig. 2-1）。各位置とも 2 回分の試技における映像を保存した。

実験試技は前後半に分けて行った。すなわち、前半は 13 カ所のうち片側が Near Diving の位置に 3 カ所（Upper・Middle・Lower）ボールを配置し、もう一方の側は Far Diving の位置に 3 カ所（Upper・Middle・Lower）ボールを配置した。これは、被験者に遠くのボールへ跳ぶ場合と、近くのボールへ跳ぶ場合の両方のケースを想定して構える必要性を持たせるためであった。1 つのボールにつき、2 回ずつ試技が行われた時点で前半の試技

は終了し、その後、左右のボールの Near・Far を入れ替えて後半の試技を再び行った。

Center に関しては前後半を通してボールを設置し、他のボール同様 2 回試技が行われるまで実施した。

本実験の被験者は、身体サイズなどに違いがあること、さらに比較的高いレベルでの競技レベルにあることから、サイドステップやクロスステップなどボールへ向かう方法に自らの得意とする動作があることが想定された。そこで被験者には「ダイビングで、できる限り早くボールに到達すること」という指示のみを行い、各被験者が得意な形で、できる限りの速さで、一定時間にどの位置まで到達できるのかということを調査した。

2.2 データ処理

2.2.1 分析試技

13 ヲ所のボール位置に対して行われた各 2 回の試技の内、方向指示から被験者のボールタッチまでの時間が短かった方の試技を分析対象試技とした。

2.2.2 デジタイズ

各試技における被験者の左右第三中手指節関節、左右肩峰の 2 次元座標をコンピュータ上でデジタイズソフトウェア（フレームディアスⅡ：DKH 社）を用いて取得した。

2.3 測定項目および算出法

2.3.1 測定項目

① ボールまでの到達時間

ハイスピードカメラ（250fps）で撮影した映像を元に，方向指示器が方向を指示した瞬間から，被験者の手がボールに触れるまでのフレーム数を計測し，時間に換算し，ボールまでの到達時間を求めた．

② ボールへ到達するまでの軌跡と経過時間ごとの各座標の位置

ゴールの後方から見て左下端をX座標（水平座標），Y座標（垂直座標）の原点として，方向指示器が方向を指示した瞬間から被験者の手がボールに触れるまでの，ボールタッチした手（第三中手指節関節）と両肩峰の中心の2点における，0.1秒ごとの位置と移動の軌跡を求めた．この時の両肩の中心は，左右の肩峰のX座標，Y座標より算出した．これらの座標値は，2次元画像から，実験の際にボールを設置したゴールの枠（2.44m×7.32m）を基準にキャリブレーションを行い，実長換算して求めた．

③ 経過時間ごとの移動速度

座標系の原点から，両肩の中心の変位を0.1秒ごとに求め，その変位から移動速度を求めた．

2.3.2 到達可能範囲の作図法

本研究では，同一時間内に手を届かせることができる可能性がある範囲を到達可能範囲とした．これは，全被験者のボールタッチした手のうち，同一時間において最も外側にあ

る手のマークを 5 つ選び、近似曲線を求めるために手のマークにおける座標値を極座標系で 2 次フィットを行い、外挿を施し作成した。

2.4 統計処理

到達時間を比較するために、ボールまでの到達時間を従属変数とし、Near・Far の 2 水準の GK からの距離要因と、2 水準の左右要因、Upper・Middle・Lower の 3 水準の高さ要因の 3 つの要因から構成される反復測定三要因分散分析を行った。その結果、交互作用が有意であった場合、反復測定二要因分散分析を引き続いて行い、その後の下位検定には Bonferroni の方法を用いた。統計分析に使用したソフトウェアは SPSS16.0J であった。統計的検定における有意水準は 5%とした。

Ⅲ. 結果

3.1 ボールまでの到達時間

Table2-1 は、全被験者の方向別の到達時間の平均値、および標準偏差を示したものである。Near Diving では、Middle 試技、Upper 試技、Lower 試技の順に到達時間が有意に長くなっていた。一方、Far Diving では、Middle 試技、Lower 試技、Upper 試技の順にボールまでの到達時間が有意に長くなっていた。

3.2 ボールへの移動速度

Fig. 2-2 は全被験者における両肩の中心の移動速度（右方向、Middle 試技）を示したものである。Far Diving は、方向指示後約 0.3 秒から加速局面が始まり、約 0.5 秒後から一度加速が収まる局面があり、その後再び加速する傾向がみられた。すなわち Far Diving では 2 つの加速局面を示す傾向がみられた。一方、Near Diving では、被験者はテイクオフまでに何歩もステップをするケースは無く、構えた姿勢からボールの方へ BS 脚を 1 歩踏み出すか、もしくは構えた位置の内側に BS 脚をついてテイクオフするという動作であった。したがって、Far Diving と比べると踏み出し動作（助走）の部分がみられず、加速局面が 1 つしかない傾向がみられた。

また今回の試技では Fig.1-1 の「ゴールキーパーのスキル」の中で 6 つに分類されたダイビングの手法のうち、ワンステップダイビング、クロスステップダイビング、ノーステップダイビングの 3 種類を被験者が用いていたことが確認された。

		Left		Center	Right	
		Far	Near		Near	Far
Means of reaching time(s)	Upper	1.42(0.06)	1.00(0.06)	0.76(0.10)	1.00(0.08)	1.38(0.07)
	Middle	1.27(0.07)	0.81(0.05)		0.85(0.08)	1.26(0.06)
	Lower	1.34(0.07)	1.06(0.10)		1.04(0.11)	1.34(0.06)

* Indicates a significant difference between each heights (P<.05). n=13 (S.D.)

Table 2-1 Means of reaching time by direction.

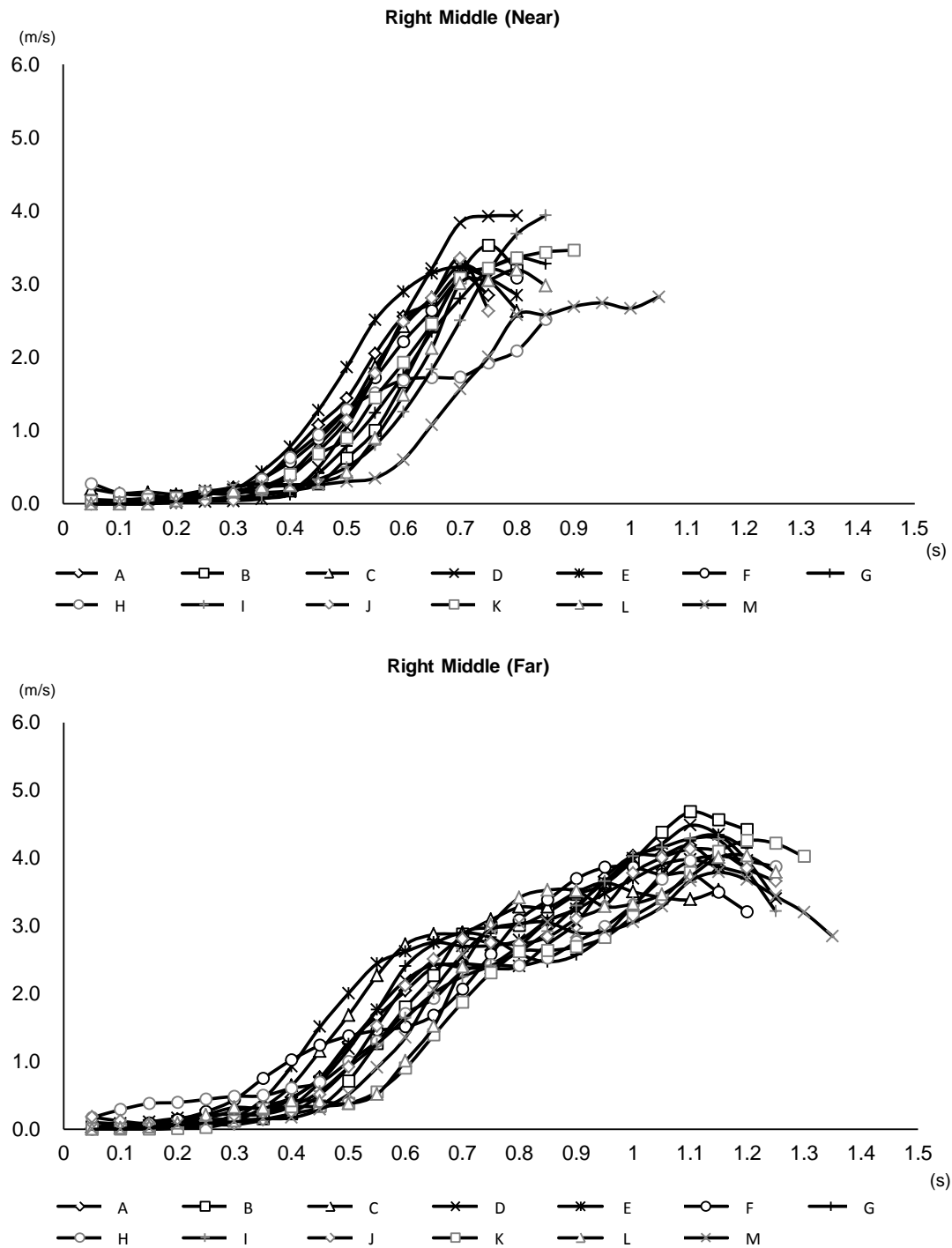


Fig. 2-2 Moving velocity of the central point of the shoulders of all participants. Upper figure shows attempts to reach the ball positioned at shorter distances. Lower figure shows attempts to reach the ball positioned at longer distances. These are the results when the balls are on the right side at middle height.

3.3 ボールへの手の移動軌跡

Fig. 2-3 は、全被験者におけるボールタッチした手の中心位置（第三中手指節関節）を、方向指示後 1.4 秒まで 0.1 秒ごとに示したものである。また Fig. 2-4 は、Near Diving における、Fig. 2-5 は Far Diving における、身長の下位 3 名（Fig. 2-4-1, Fig. 2-5-1, 平均 174.0cm）と上位 3 名（Fig. 2-4-2, Fig. 2-5-2, 平均 187.0cm）におけるボールタッチした手の中心位置（第三中手指節関節）を示したものである。これらの図の同一時間のマークが、どのくらい中心から離れているかという散らばりが、同一時間で手を移動できる範囲の広がりを示している。

Fig. 2-4-1, 2-4-2 の Near Diving のデータをみると、0.5 秒までのマークは、最初の構え時における手の位置と考えられる高さ 0.61m 付近に集まっていた。その後 0.7 秒や 0.8 秒のデータでは、左右ともに中央から 1.83m, 高さ 1.22m 付近（Middle 試技のボール位置）にマークが多くみられたが、1.0 秒のデータでは、ゴール上下部に多くマークがみられた。さらに、Near Diving の Middle 試技において、最も早く到達した被験者のボールタッチした手における移動軌跡をみると（Fig. 2-6）、Middle 試技と Lower 試技の軌跡では、ボールまでの移動軌跡の長さに大きな差はないように見える。しかし、Middle 試技と Lower 試技の 0.7 秒後の位置を示すマーク（グレーのひし形のマーク）のボールまでの距離を比較すると、Lower 試技のマークは、Middle 試技と比べて長かった。

次に、Fig. 2-5-1, 2-5-2 の Far Diving のデータでは、Near Diving と比較したところ、方向指示から 0.5 秒までのデータにおいて、構えた姿勢の手の位置周辺にマークが集まっている状態は同様である。しかし、0.6 秒から 1.0 秒のデータにかけて、外側下方へマー

クが広がっており、1.0s のデータでは地面付近においてもマークが確認された。

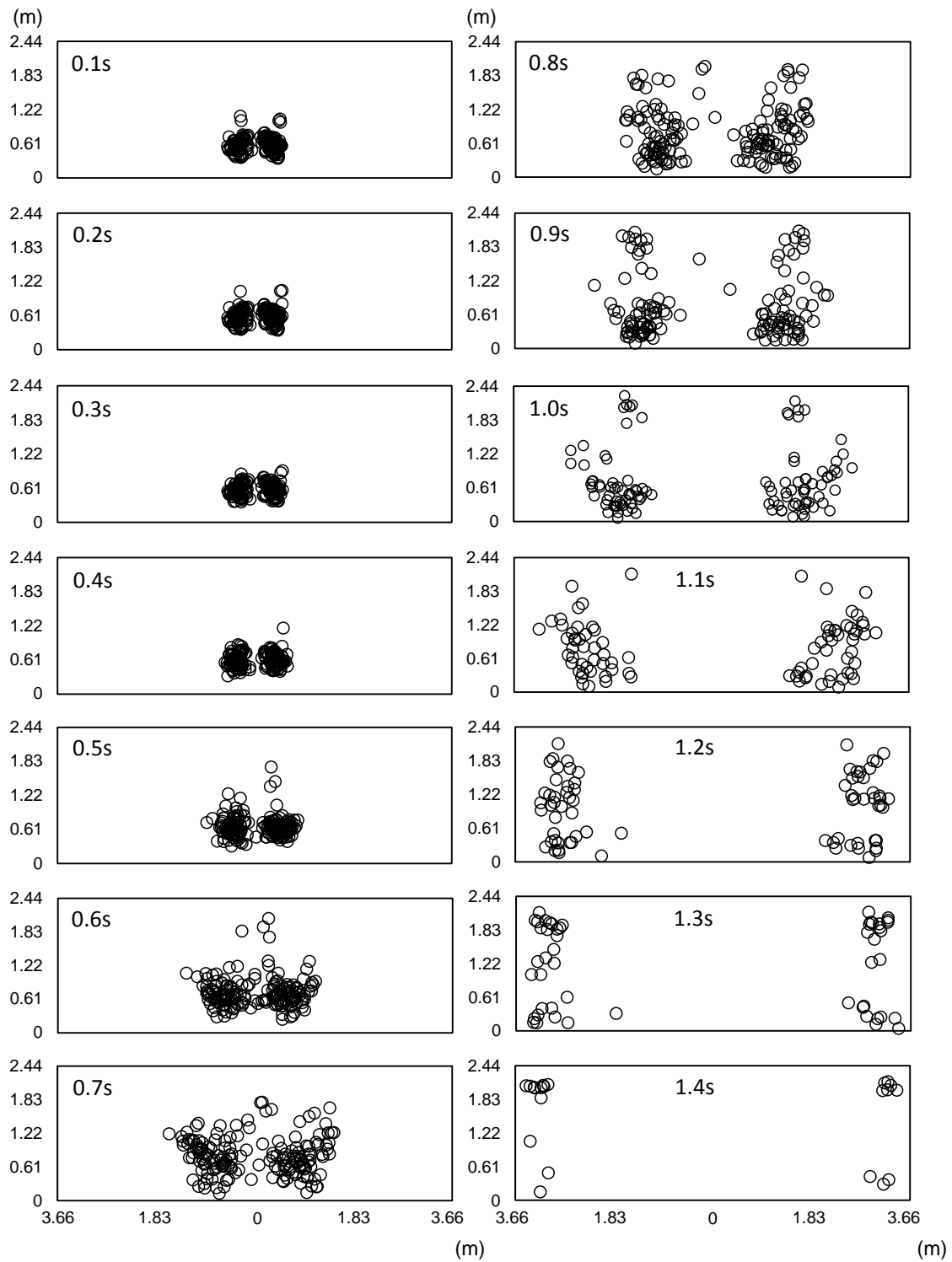


Fig. 2-3 Temporal position of the hand touching the ball. Temporal positions of the hand touching the ball every 0.1s after the directional indication for a period of 1.4s are collectively recorded for all subjects for shorter and longer distances.

また、Fig. 2-4, 2-5 における時間ごとのマークの広がり方について、身長の上位 3 名と下位 3 名で比較したところ、Far Diving においては上位 3 名の方が、下位 3 名よりも、同一時間においては、マークが外側へ広がっている様子がみられた。しかし 0.5 秒前後までのマークの集合、その後のマークの広がり、またゴール上下部に最後までマークがみられることといった既述の特徴は両群において確認された。

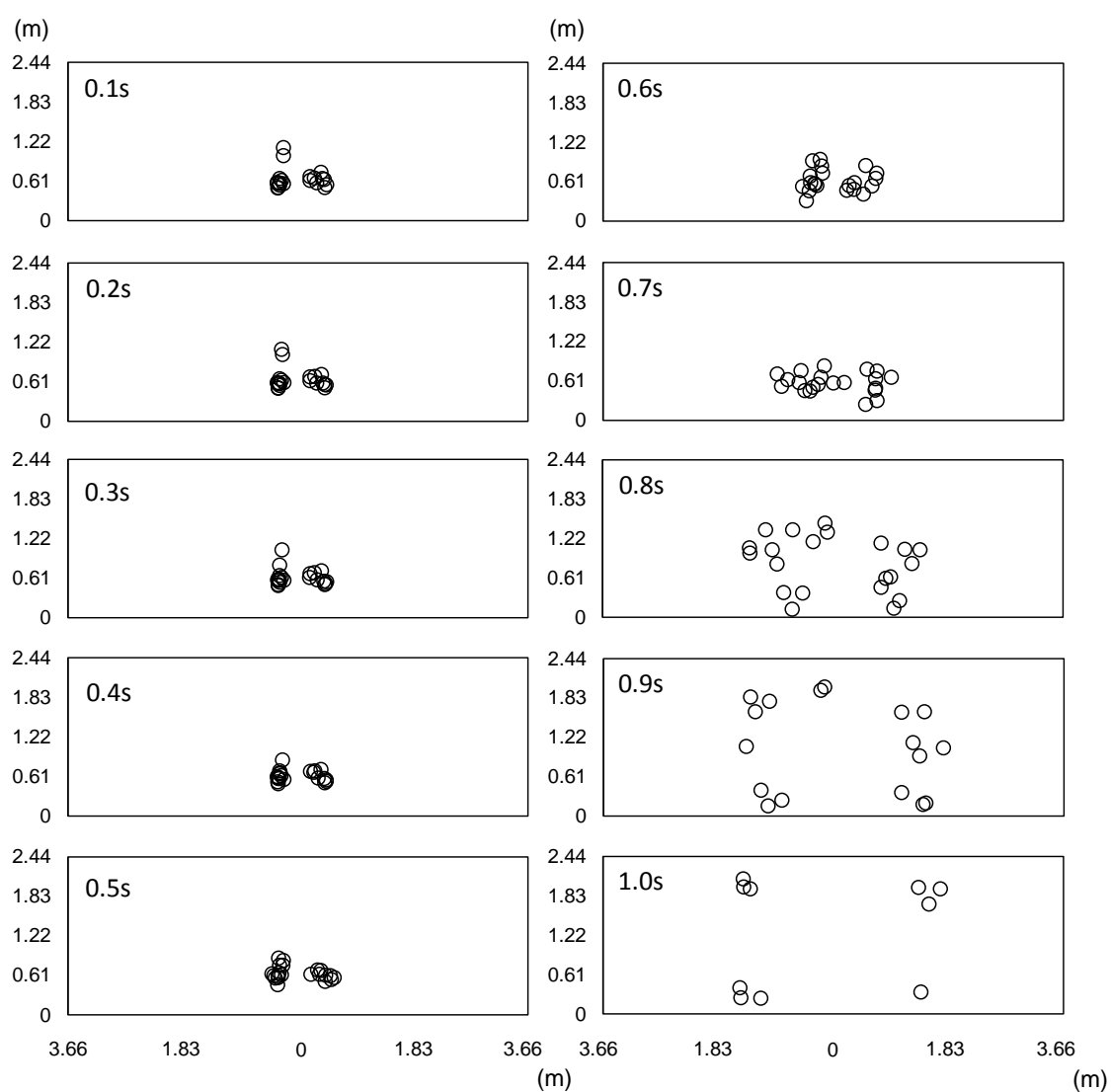


Fig. 2-4-1 Temporal position of the hand touching the ball. (Short Distance; Shortest Subjects). Temporal positions of the hand touching the ball in the attempt for a ball at a shorter distance every 0.1s after the directional indication for a period of 1s are recorded. The panels show the data for the shortest three subjects.

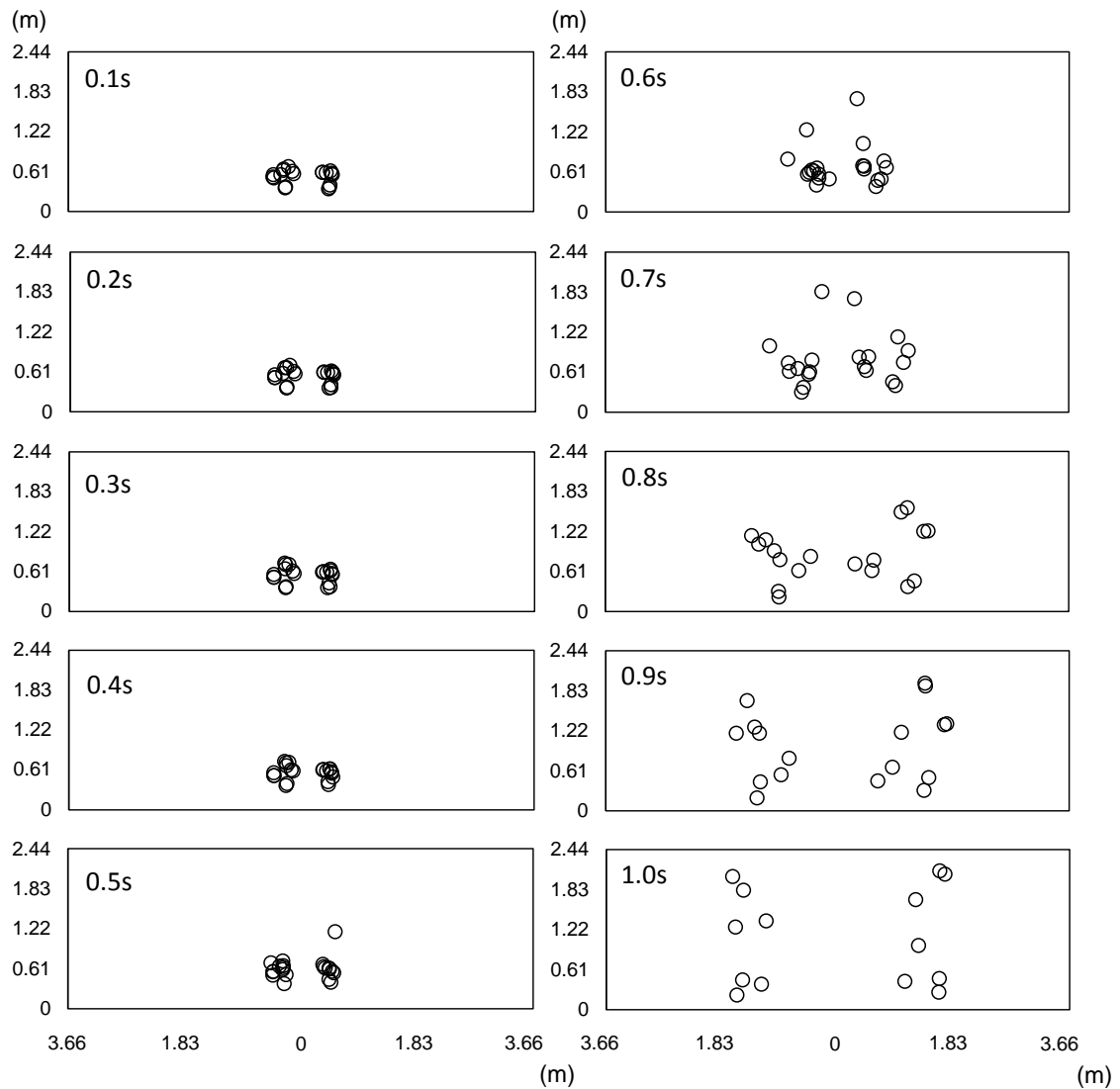


Fig. 2-4-2 Temporal position of the hand touching the ball. (Short Distance; Tallest Subjects). Temporal positions of the hand touching the ball in the attempt for a ball at a shorter distance every 0.1s after the directional indication for a period of 1s are recorded. The panels show data for the tallest three subjects.

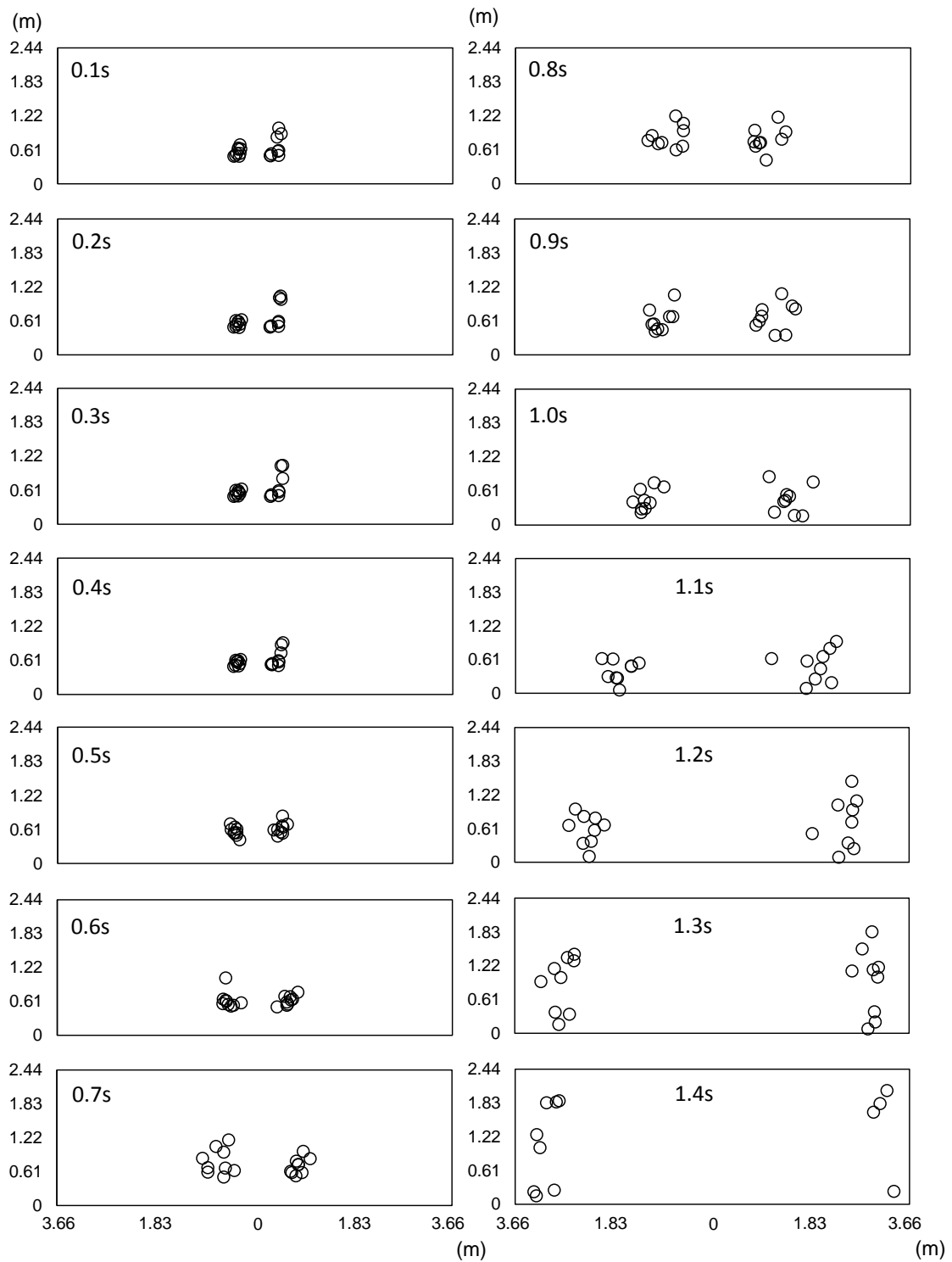


Fig. 2-5-1 Temporal position of the hand touching the ball. (Longer Distance; Shortest Subjects). Temporal positions of the hand touching the ball in the attempt for a longer distance every 0.1s after the directional indication for a period of 1.4s are recorded for the three shortest subjects.

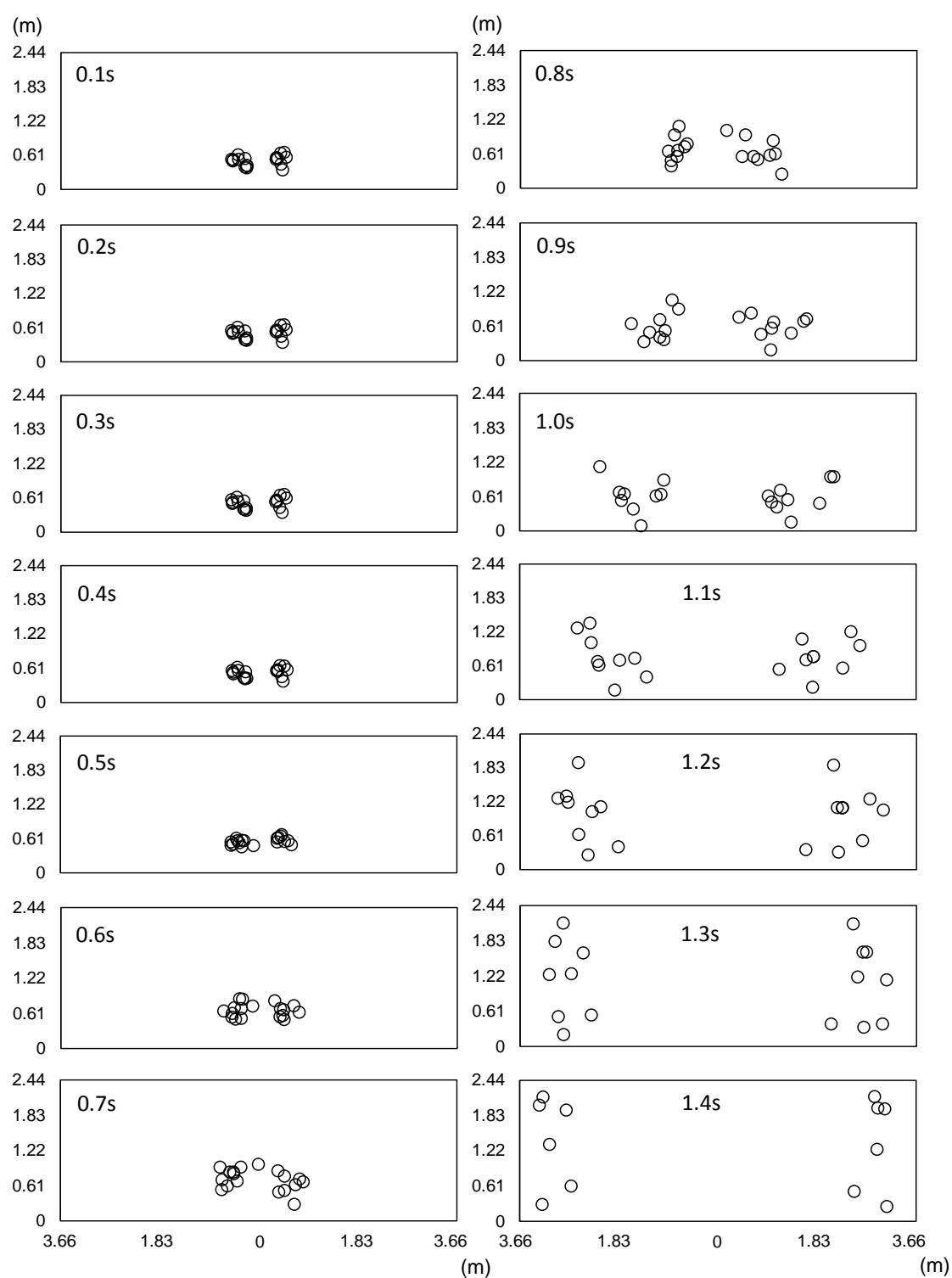


Fig. 2-5-2 Temporal position of the hand touching the ball. (Longer Distance; Tallest Subjects). Temporal positions of the hand touching the ball in the attempt for a longer distance every 0.1s after the directional indication for a period of 1.4s are recorded for the three tallest subjects.

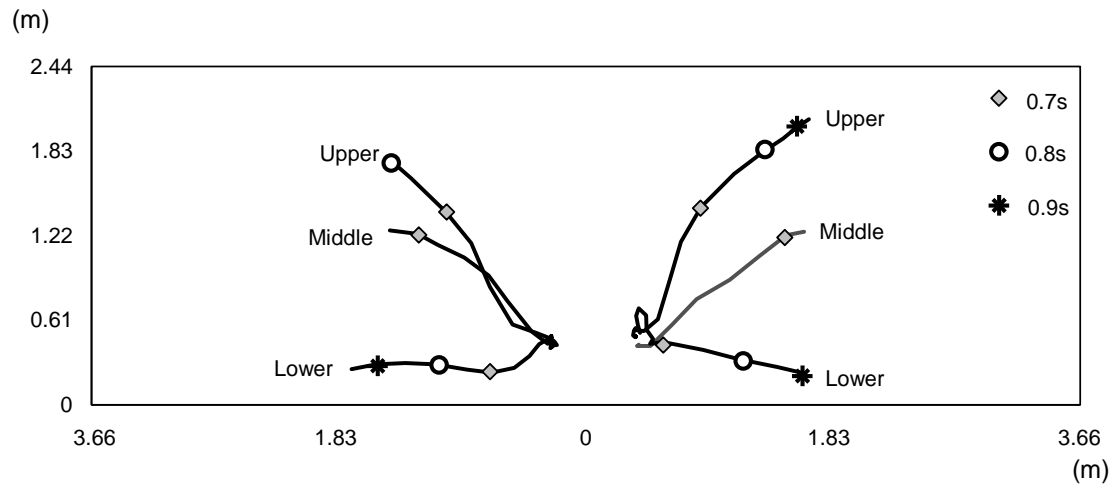


Fig. 2-6 Example of moving trajectory of the hand touching the ball. (Temporal Position of Subject J's Hand every 0.1s). This describes the moving trajectories of the hand by height, showing that the hand has moved to the end of the line. The external frame is based on the size of a soccer goal (2.44 m × 7.32 m).

3.4 シュートに対する到達範囲

Fig. 2-7 の到達可能範囲は、Fig. 2-3 の同一時間のマークの中で、外側にあるマーク 5 つを選び、近似曲線を求めるために 5 つのマークの座標値を極座標系で 2 次フィットを行い、曲線補間で繋いだものである。この Fig. 2-7 に関しては、先の分析結果 (Fig. 2-3) で、方向指示後 0.7 秒までは最初の位置からボール方向への手の大きな移動がみられなかったことを考慮し、方向指示後 0.8 秒以降のデータに基づき表示している。また方向指示後 1.4 秒以降のデータは、到達が遅かった被験者の影響で、方向指示後 1.3 秒後のデータよりも内側にマークがあるケースがみられたため、方向指示後 1.4 秒以降のデータも除いている。

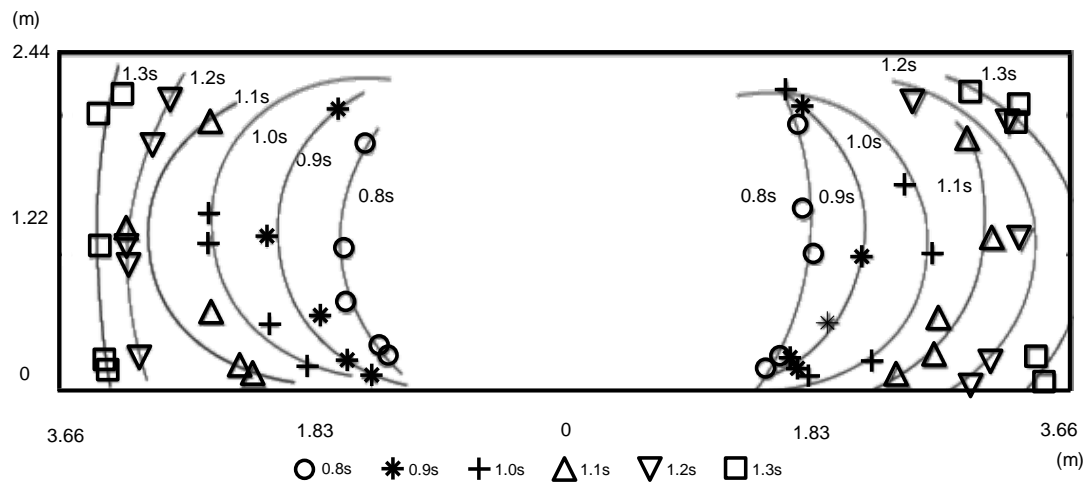


Fig. 2-7 Diagram of reaching area. This diagram is based on temporal moving trajectories of the hand every 0.1 s for a period of 0.8 to 1.3 s after the directional indication. External frame is based on the size of a soccer goal (2.44 m × 7.32 m).

IV. 考察

4.1 ボールまでの到達時間

本研究の結果は、Near Diving は、浅井ら（1982）の報告（GK からのボールまでの距離が 2.1m）と同様に、到達時間が Middle 試技、Upper 試技、Lower 試技の順で長くなっていた。一方、Far Diving では、到達時間が Middle 試技、Lower 試技、Upper 試技の順で長くなっており、浅井ら（1982）の報告と異なる結果となった。本研究における GK からの距離は、Near Diving で 1.83m、Far Diving では 3.50m であったことから、GK からのボールまでの移動距離の違いによって、到達時間の順序が異なる結果となった。すなわち、常に Upper 試技、Lower 試技のいずれかのコースへの到達が遅れるのではなく、GK からの距離によっては Upper 試技、Lower 試技で到達までの早さが変わる可能性が示された。

これらのことから、GK にとって、同じ水平距離だけ離れたところへシュートされたとしても、ボールの高さによって防御の難易度が異なると考えられる。また、防御の難易度は GK からの距離の違いによっても変化し、GK に近い距離では低いシュートの方が、遠い距離では高いシュートの方が防御しにくいということが明らかになった。

4.2 ボールへの移動の特徴

ボールに到達するまでの動きをみると、Far Diving では 2 つの加速局面を示す傾向があり、これは最初の加速局面が GK のボール方向への踏み出し動作によるものであり、2 度目の加速局面はテイクオフ動作（地面をけて股関節、膝関節、足関節を伸展させる動作）

によるものであると考えられる (Fig. 2-8). 一方, Near Diving では加速局面が 1 つしかない傾向がみられた. Graham-Smith and Lees (1999)は「GK は, ボールの位置に応じて 8 つのテクニックから適当なものを選んでいる.」と述べ, ボールの位置に応じてステップの仕方やテイクオフの仕方を変えていることを指摘している.

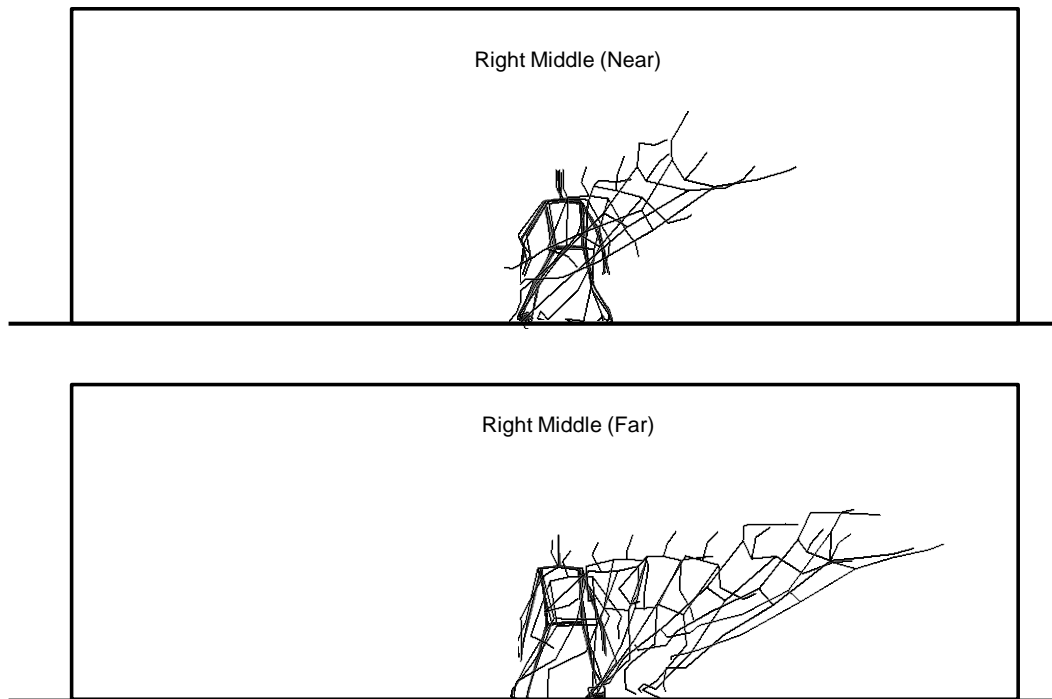


Fig. 2-8 Example of diving actions in attempts for shorter and longer distances. Stick figures illustrating Subject J's attempt every 0.1 s. Bodily points for analysis (23 points) were digitised to create the stick figures. Upper panel shows an attempt for a ball at a shorter distance (right side; middle height); no stepping action toward the ball was seen until the take-off action. In contrast, the lower panel shows an attempt for a ball at a longer distance (right side; higher height); a stepping action was performed before taking off.

また、浅井・布目（2002）は、テイクオフの局面におけるボールまでの力発揮に関して、「GK 上方のボールに対してのジャンプは、重心の移動方向と接地した足の力の方向（地面反力）をほぼ一致させることができるが、横方向の場合はある角度以下に脚が地面に近づいた傾きになると、シューズが地面をグリップできなくなり、重心の移動方向と接地した足の力の方向を必ずしも一致できない。したがってグリップを確保できる範囲で地面に力を加えると同時に体を下側に回転させボールのところへ最短時間で手を移動させることが重要になってくる」としている。これは、テイクオフの局面において、**Lower** 試技は **Upper** 試技と同様に地面反力を発揮してボールへ向かうことは困難であり、**Lower** 試技において到達が遅れた要因の 1 つと考えられる。さらに、**Lower** 試技においてボールへ手に向かわせるためには、構えた姿勢から上肢をボールに近づけようと、体幹を下方向に回転させなくてはならないが、GK の身体重心を素早く下方向へ動かすためには、体を倒していくことで、重心を身体基底面の外側に移動させることによって、重力加速度による加速を生じさせることに依存するしかない。このようなボールの位置に応じたステップの仕方やテイクオフの動きの違いが、本研究の各被験者における移動速度の推移の違いを生み、到達時間の違いに影響していたと考えられる。

次にボールタッチした手の動きをみると、**Near Diving** では方向指示後 0.7 秒後には、**Middle** 試技においてはボール付近まで手を移動させることができていたが、**Lower** 試技においては **Middle** 試技よりもボールまでの距離が残っていた（Fig.2-6）。このことから **Middle** 試技が **Lower** 試技よりも早い時間で手がボールまで到達していたことがわかる。これは到達時間のデータでも明らかになったことでもある（Table.2-1）。

では、それぞれの試技におけるボールタッチした手がどのようにボールまで移動したかを検討する。Near Diving, Far Diving とともに方向指示後 0.5 秒までのマークは、最初の構え時における手の位置と考えられる、高さ 0.61m 付近に集まっていた (Fig.2-4, 2-5)。GK は Middle 試技においては、その手の位置からボールまでの距離が他の試技よりも短かったため、他の試技よりも早くボールへ到達できたと考えられる。すなわち、ボールへ向かう過程で Lower 試技は Middle 試技よりも時間がかかっていたといえる。

一方、Far Diving では 0.6 秒から 1.0 秒のデータにかけて、外側下方へマークが進み、1.0s のデータでは地面付近にもマークが確認された。これは腕の振込動作における後方から前方への腕の振り戻しの部分に当たると考えられ、0.9 秒から 1.1 秒にかけてのデータをみると、手が最も下がった位置から各ボールの高さに手が向かっていたことがわかる。この腕の振込動作が見られる時間帯は、Fig. 2-2 の Far Diving のグラフの 2 つ目の加速局面の時間帯とほぼ一致することから、ステップ中に腕のスウィングによる振込動作とテイクオフのタイミングを合わせて、最終的に手をボールへ向かわせていると考えられる。このステップからのテイクオフと腕のスウィングによる振込動作を組み合わせる加速させる局面が、Near Diving では見られなかった Far Diving 特有の局面といえる。また、Near Diving と異なり、Lower 試技では手の位置が、0m から 0.61m までの低い位置からボールへ向かっている。これは、動き出しからステップの中で、体幹を下に回転させながら、下にあるボールに対して上肢をより近づけてテイクオフを行うことができていたのではないかと推察できる。その結果、Far Diving では Upper 試技よりもボールまでの到達時間を短縮することができ (Table.2-1)、Upper 試技と Lower 試技の到達時間の順序が Near

Diving と Far Diving で異なつたと考えられる。

また、身長の上位 3 名と下位 3 名で比較したところ、Far Diving では上位 3 名において、下位 3 名よりも同一時間におけるマークが、より外側へ広がっている様子がみられた。一方、0.5 秒前後までのマークの集合、その後のマークの広がり、またゴール上下部に最後までマークがみられることなど同様の特徴もみられた。このことから GK の身体の大きさによって、同一時間で到達できる範囲に差があるものの、高さの違いによる到達可能範囲の形は同様になると考えられる。

本実験では到達範囲の検討が目的であることから、2 次元での映像分析を行ったので、クロスステップ、サイドステップの違いは確認できるが、ステップ時の力の発揮形態は十分に分析することができない。よってこれらは、次章以降の研究課題とする。

4.3 シュートに対する到達範囲

これまで、Kerwin and Bray (2006) によって、ペナルティキックを再現した実験からペナルティキック時の到達推定範囲図 (Fig.1-3) が、地面中央の位置を中心とする同心円状の形で示されている。その図と本研究で示した図を比較すると、中央からの水平距離が同じであっても、ボールの高さの違いによってボールに到達できる範囲が異なるという点、さらに、ゴール上部がゴール中ほどの高さよりも同一時間で到達できる範囲が狭いという点は同様の結果であった。しかし、Fig. 1-3 は、ゴール下部の高さで到達範囲が最も広がっていたが、本研究ではゴール下部の高さはゴール中ほどの高さよりも到達範囲が広がっておらず、異なる結果となった。両研究の方法を比較すると、Fig. 1-3 では、実測値の得

られていないエリアの到達範囲については推測値となっていたが、本研究では、実際に Upper, Middle, Lower の全ての高さにダイビングしたデータから算出した結果を元に到達範囲図 (Fig. 2-7) を作成した。本研究で分析した静止球へのダイビングは実際のゲーム場面と異なるものの、被験者は方向指示器の示す方向へ方向指示後に動き出す必要があり、それは実際のシュート場面でみられる、蹴られたボールのコースを判断して動き出すという実際のシュート場面に近い状況が設定されていたと考えられる。よって、今回の実験によって作成された到達可能範囲は、Kerwin and Bray (2006) の研究よりも、実際のシュート場面での GK の動作に、より近い状態の結果を反映したものであるといえる。

なお、今回の被験者が大学生であったことを考慮すると、大学生は体格が十分に発達しており、Upper 試技におけるダイビングにおいても筋力的に問題なく重心を上方向に運ぶことができていたと考えられる。しかし、低い年代の選手や体格が未発達の選手では、身長が低い点、ならびに下肢の筋力が未成熟で、上方向に重心をしっかりと運ぶことができず、ゴール上部まで手が届かせることができない点が原因でボールへ到達できる範囲が制限されてしまうことが十分に考えられる。また、今回のデータでは方向指示から約 0.5 秒までは最初の構え時における手の位置と考えられる高さ 0.61m 付近に集まっており、0.7 秒あたりからボール付近に手が移動していた (Fig.2-4, 2-5)。インステップキックで蹴られたボールは、時速 100 kmを超えることが報告されており (Nunome *et al.*, 2002)、その場合 0.7 秒経過した時点では、ボールがおおよそ 19m 移動していることとなる。よって 19m より近くから放たれたシュートに関しては、この到達範囲を適用させることが難しくなる。

したがって今回の到達可能範囲は、十分に体格の発達した GK が、おおよそ 19m 以上離

れた位置から放たれたシュート，いわゆるミドルシュート，ロングシュートに対処する局面において適用することが妥当であると考えられる．

また，本研究の結果は実際のサッカーの場面において，シュートの位置や到達までの時間に応じた戦術的なプレー選択の目安として活用できると考えられる．例えば，近い距離からシュートを打たれた場合では，**GK** がシュートを防ぐために与えられた時間は短くなってしまう．本研究では **GK** がシュートに反応し，手がボールに対して動き始めるまでに約 0.5 秒かかることが示された．もちろん，シュートを放つ選手とゴールとの角度や味方選手との位置関係などの状況から，ある程度シュートが飛行してくる範囲を予測することによって，0.5 秒という動き始めるまでの時間は短縮できる可能性はあると考えられる．

しかし，シュートに反応してからの防御が困難であると予想される状況においては，シュートを放つ選手との距離間を詰めて，体や足でシュートを防ぐことも有効な防御手段となり得る．よって **GK** への指導場面では，そのようなプレーをトレーニングすることも必要になるといえる．一方，この到達可能範囲はシュートを打つ側にとって，自身からゴールまでの距離によって，シュートのゴールまでの到達時間が把握できれば，どの位置にシュートを放てば，シュートが入る確率が高まるかという指標になると考えられる．

最後に本章では，**GK** のダイビングに関して，高さおよび距離の違いに伴う到達時間の違いから一定時間における到達可能範囲を検討した．しかし，それらの高さおよび距離の違いに応じた動作自体の分析を目的としたものではないため，ボールに到達するまでの動作の特徴や地面反力の発揮特性の詳細は不明である．したがって，第 3 章においてダイビングの高さおよび距離別の動作特性や地面反力の発揮特性を詳細に検討していく．

V. まとめ

本研究では、GK がランダム方向に出される方向指示器の電動表示に反応してボールへダイビングで向かわせる実験より、ボールの位置（高さ・距離）の違いに伴うダイビングの到達時間、移動速度、手の移動軌跡を検討し、GK のダイビングにおける到達可能範囲を明らかにしようとした。結果を以下に要約する。

- 1) ボールの高さ (Upper, Middle, Lower) における到達時間を比較すると, Near Diving では、左右とも Middle, Upper, Lower の試技順にボールまでの到達時間がそれぞれ有意に長くなっていた。一方, Far Diving では、Middle, Lower, Upper の試技順に到達時間がそれぞれ有意に長くなっていた。
- 2) Far Diving における両肩の中心の移動速度では、加速局面が方向指示後約 0.3 秒から始まり、約 0.5 秒後から一度加速が収まる局面があり、その後再び加速する傾向がみられた。一方, Near Diving では、踏み出し動作（助走）の部分が無く、加速局面が 1 つのみの傾向がみられた。
- 3) ボールタッチした手の中心位置（第三中手指節関節）の軌跡から、到達可能範囲を作成し、ボールの高さおよび距離に応じて到達できる範囲が明らかになった。

第 3 章

「サッカーの GK における
ダイビングの地面反力の発揮特性」

I. 緒言

第2章の結果より, GKのダイビングによる,それぞれのボールの高さへの到達時間は, Near Diving では, Middle, Upper, Lower 試技の順に, Far Diving では Middle, Lower, Upper 試技の順に長くなっていた. すなわち到達時間の順序は, 高さや距離の違いによって異なるということが示された. また同一時間における到達可能範囲を検討することによって, ゴール上下部は, GK から同一距離離れた場所へ放たれたシュートであっても, 同一時間ではゴール中ほどの高さよりも到達することが難しいということが明らかになった.

これらゴール上下部へのシュートを防ぐためのダイビングにおいて, GKは重心を動き始めの位置よりも上, もしくは下へと移動させることが不可欠であるといえる. GKが重心を上へ移動させるためには, 上向きの地面反力を発揮する必要がある. 一方, GKが下方向へ重心を移動させるためには, 下向きに地面反力を発揮させることができないため, 下肢を屈曲させる, もしくは下肢を倒していくことで重心を移動させる必要がある. また, より遠くのボールへのダイビングでは, GKは離地前にステップを入れることに加えて, 離地後により遠くまで重心を移動させなくてはならない.

したがって第3章では, これら重心を移動させるための地面反力の発揮について検討する. これまでのGKのダイビングのパフォーマンスに関わる要素として離地時の重心速度が大きいこと (Suzuki *et al.*, 1988), 重心をボールに対して直線的に動かすこと (Suzuki *et al.*, 1988 ; Spratford *et al.*, 2009) の2点が挙げられている. 離地時の重心速度には地面反力の大きさが, 重心をボールに対して直線的に動かすためには地面反力を発揮する方向が, 深く関わっているといえる. しかし, これまでダイビングの研究において, ボール

の位置によって、それぞれの脚において、いつ、どのような力が発揮されているのかというダイビング時の地面反力の発揮の特性については明らかにされていない。よって GK のダイビングにおける高さ・距離の違いに応じた地面反力の発揮や動作の特性を明らかにすることは GK のダイビングの指導への有益な示唆はもちろん、まだ、十分に進んでいるとはいえない GK のダイビングに関する研究への有益な知見を示すことができると考えられる。

そこで本章では、GK のダイビングを対象に、ボールの高さ・距離の違いに伴う、それぞれの脚における地面反力と下肢の関節トルク、関節角速度、関節トルクパワーを比較検討し、ダイビング技術の基礎的メカニズムを明らかにしようとした。

II. 方法

2.1 実験

2.1.1 被験者

被験者は、大学サッカー部員の GK11 名であり、身長の平均値は 178.4cm (SD=6.2), 体重の平均値は 71.2kg (SD=2.5) であった。また、著しくダイビング技術が未熟な選手はみられなかった。室内での実験であったため、被験者は市販の屋内用サッカーシューズを着用した。なお、すべての被験者には本実験の主旨、内容ならびに安全性についてあらかじめ説明し、参加の同意を得た。

2.1.2 計測

動作の計測には、3 次元自動動作分析装置 VICON (Oxford Metrix 社製) を用いて、被験者の身体セグメント分析点 47 点に反射マーカを貼付し、毎秒 250 コマで計測した。

また、2 台のフォースプラットフォーム (9281A, Kistler 社 ; 9287B, Kistler 社) を設置し、ダイビング中の両脚に作用する地面反力をサンプリング周波数 1000Hz で計測した。

静止座標系は右手系とし、GK の前後方向に向かうベクトルを X 軸、横方向のベクトルを Y 軸、 および X,Y 軸に垂直で鉛直方向へ向かうベクトルを Z 軸に設定した。すなわち本試技においては GK から見て、後ろ方向は X 軸が正の値、右方向は Y 軸が正の値、上方向は Z 軸が正の値となった (Fig. 3-1)。

2.1.3 実験試技

本研究ではボールまでの距離を Near Diving と Far Diving の 2 パタン, 高さを Upper, Middle, Lower の 3 パタンの合計 6 パタンのボールの位置におけるダイビングを分析した。

それぞれの試技は予めボールが設置されていたため, 被験者はダイビングを行うボールの位置は分かっていた。また, 被験者の任意のタイミングで動き出しが行われた。この 2 点については, 実際のシュート場面とは異なる状況であるので, 本研究における動作分析の対象とする区間は, 次項で述べる動き出し後の期間に設定した。被験者には, 動き出し前の姿勢はできる限り変わらないようにすること, できる限り早くボールへ向かうこと, 両手でボールに触れることの 3 点を指示した。

2.1.4 被験者の構える位置とボールまでの距離

被験者が構える位置は, Near Diving では矢状面がボールから 1.83m 離れたフォースプレート中央になるようにした。Far Diving では矢状面がボールから 3.50m 離れた位置とし, その内訳は, 構えた位置からフォースプレート中央までは 1.2m, さらにそこからボールまでが 2.3m であった (Fig. 3-1)。

2.1.5 ボールの高さ

設置したボールの高さは, Upper 試技では, ペンデルボール(ペレーダテッサー, PFTR, モルテン社)の中心が地上から 2.20m になるようにセットし, Middle 試技は, ペンデルボールの中心が地上から 1.22m になるようにセットした。Lower 試技は, 地面に敷いた安

全マット上にサッカーボール（ペレーダ，PF405，モルテン社）を設置した．ボールはすべて被験者が右側にダイビングを行うようにセットした．

2.1.6 ステップの設定

Graham-Smith and Lees (1999) は「GK は，ボールの位置に応じて 8 つの動き方から適当なものを選んでいる」と述べており，同じ位置に配置したボールであっても，被験者間でボールへ向かうまでのステップに違いが生じることが予想された．そこで本研究では，被験者間で構えの姿勢からボールへ向かうまでの両脚の運び方に差が出ないように，Graham-Smith and Lees (1999) が示した 8 つの動き方から，ボールまでの距離，高さに適すると考えられる動き方を選択した (Fig. 3-1)．被験者は，Near Diving では構えた姿勢から BS 脚のみをボール側に 1 歩動かし，ダイビングを実施した．また，Far Diving では，構えた姿勢から両足同時にボール方向に 1 歩サイドステップをし，ダイビングを行った．

2.2 データ処理

2.2.1 ダイビングの局面分類の定義

Near diving, Far diving とともに，ダイビングにおけるフォースプレート上の動作より以下の 4 つのタイミングを抽出し，それぞれのタイミングの間を 3 つの局面に分類し，この 3 つの局面を分析対象区間とした．それぞれのタイミング，ならびに局面は以下のように定義した (Fig. 3-1)．

① Start of analysis

Near diving ではフォースプレート上に両脚が接地した状態から、BS 脚が離地した時点とした。Far diving では、フォースプレートの外側からステップを行い、フォースプレート上に CS 脚が接地した時点とした。

② BS touched down

Near diving では離地した BS 脚が再びフォースプレート上に接地する時点とした。Far diving ではフォースプレート上に BS 脚が接地した時点とした。

③ CS left

Near diving, Far diving とともに CS 脚が離地した時点とした。

④ Finish of analysis

Near diving, Far diving とともに最終的に BS 脚が離地した時点とした。また Near diving において、BS 脚の離地前にボールに触れた際は、その時点を Finish of analysis とした。さらに、①Start of analysis から②BS touched down までの期間を Initiation, ②BS touched down から③CS left までの期間を Transition, ③CS left から④Finish of analysis までの期間を Takeoff とした。

2.3 平滑化

得られた座標値は、バターワース型デジタルフィルタを用いて平滑化した。用いた遮断周波数は、Wells and Winter (1980) の方法により決定し、本研究では 5-15Hz であった。

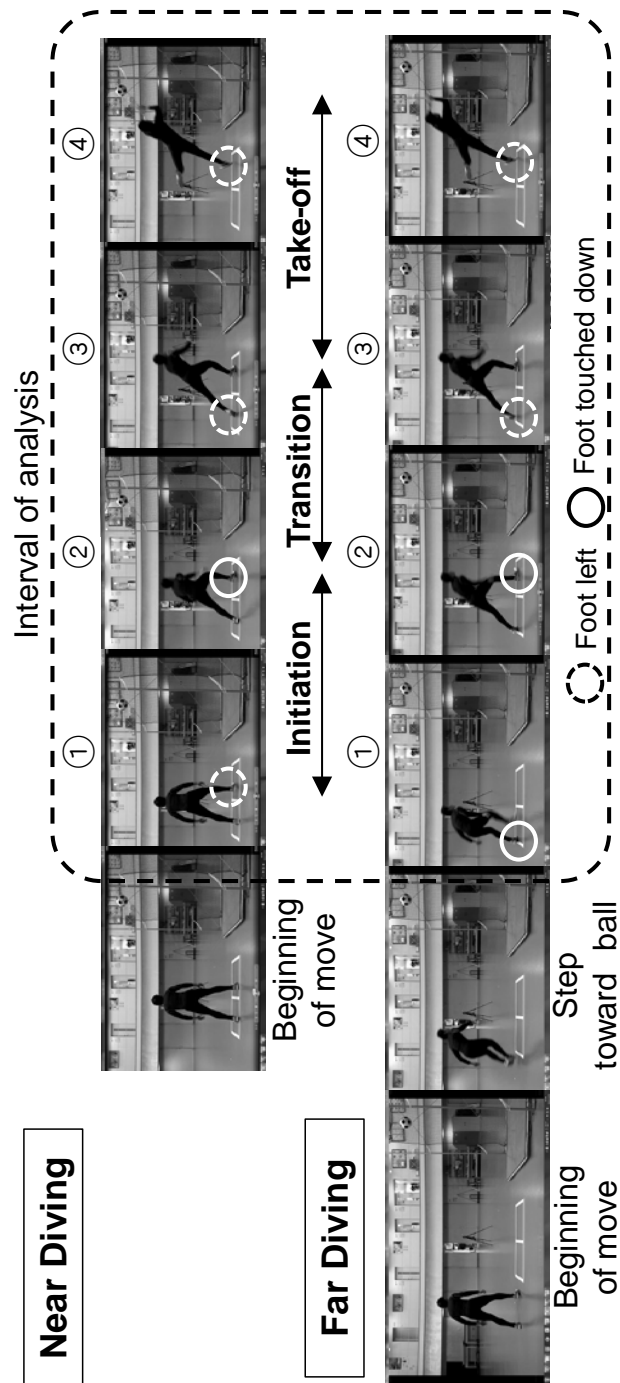


Fig. 3-1 Example of division of each timing during diving actions (Diving for right side ball). Upper figure shows example of near diving. Lower figure shows one of far diving. *Start of analysis* (①) at near diving means Ball side (BS) foot left the ground, and *Start of analysis* (①) at far diving means Contralateral side (CS) foot touched down. *Finish of Initiation* and start of *Transition* (②) means BS foot touched down. *Finish of Transition* and start of *Takeoff* (③) means CS foot left the ground. *Finish of analysis* (④) means BS foot took off. Each figure is seen from behind.

2.4 測定項目および算出法

2.4.1 ボールまでの到達時間

ボールまでの到達時間は、Start of analysis から GK がボールタッチするまでの時間とした。なお、ボールタッチした時点は、設置したボールに貼付したマーカーに 1/250 秒で 2mm 以上、すなわち 1 秒あたり 50cm 以上の変位がみられた時点とした。本研究は、上記のようにボールまでの到達時間を定義したため、Near diving では動き始めてから BS 脚が離地するまでの時間が、Far diving では動き始めからサイドステップを行っている時間を含め、フォースプレートに CS 脚が接地するまでの時間は到達時間に含まれていない。

2.4.2 身体重心位置

身体重心位置は、阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて算出した。それぞれのデータは Start of analysis から Finish of analysis までの時間を 100%として正規化された。

2.4.3 体重あたりの地面反力

体重あたりの地面反力は、ダイビング中のそれぞれの脚に作用する地面反力をサンプリング周波数 1000Hz で計測し、体重で除して算出した。Initiation では BS 脚が、Takeoff では CS 脚がフォースプレート上に接地していないので、地面反力は発揮されていないとみなし、その期間の BS 脚、CS 脚の地面反力は検討しないものとした。

得られた地面反力データから、各期間の力積を算出した。また、横・鉛直平面上に投影した地面反力ベクトル（以下、横・鉛直ベクトルと略す。）を求め、ベクトルの大きさと角

度を算出した．それぞれのデータは Start of analysis から Finish of analysis までの時間を 100%として正規化された．ベクトルの大きさが 1N/kg 未満のものは，脚が地面に接地していない，もしくは発揮されている力が非常に小さいと考えられるため，本研究では分析対象から除いている．

2.4.4 関節角度，関節角速度

本研究では移動座標系を用いる方が選手の動作や運動感覚を理解しやすいと考え，関節角度，角速度は，移動座標系を用いて算出することとした．以下に下胴，股関節，膝関節，足関節について移動座標系と関節角度を定義した (Fig. 3-2)．関節角速度は，股関節屈曲伸展，内外転，膝関節屈曲伸展，足関節底背屈の軸について関節角度を時間微分し算出した．ここでは右側のみを示し，左側は省略する．

(1) 下胴

まず，左右の股関節の中心から，左右の肋骨下端の midpoint へ向かう単位ベクトルを Z_{LT} とし，左股関節から右股関節へ向かう単位ベクトルを S_{LT} とした．次に Z_{LT} と S_{LT} との外積によって得られる単位ベクトルを Y_{LT} とし，さらに Y_{LT} と Z_{LT} との外積によって得られる単位ベクトルを X_{LT} とした．そして， X_{LT} ， Y_{LT} ，および Z_{LT} を軸とする座標系を，下胴座標系 Σ_{LT} と定義した．

(2) 股関節

① 股関節屈曲伸展

まず，下胴座標系 Σ_{LT} の X_{LT} と同一のベクトルを X_{hipFE} とし，膝関節から股関節へ向かう単位ベクトルを S_{hipFE} とした．つぎに S_{hipFE} と X_{hipFE} との外積によって得られる単位ベクトルを Y_{hipFE} とし， X_{hipFE} と Y_{hipFE} との外積によって得られる単位ベクトルを Z_{hipFE} とした．そして， X_{hipFE} と Y_{hipFE} ，および Z_{hipFE} を軸とする座標系を，股関節屈曲伸展座標系 Σ_{hipFE} と定義した．ここで， $Y_{LT}(Z_{LT})$ と $Y_{hipFE}(Z_{hipFE})$ との成す角を股関節屈曲伸展角度と定義した．

② 股関節内外転

まず，股関節屈曲伸展座標系 Σ_{hipFE} の Y_{hipFE} と同一のベクトルを Y_{hipAA} とし，膝関節から股関節へ向かう単位ベクトルを Z_{hipAA} とした．つぎに Y_{hipAA} と Z_{hipAA} との外積によって得られる単位ベクトルを X_{hipAA} とした．そして X_{hipAA} ， Y_{hipAA} ，および Z_{hipAA} を軸とする座標系を，股関節内外転座標系 Σ_{hipAA} と定義した．ここで， $X_{hipFE}(Z_{hipFE})$ と $X_{hipAA}(Z_{hipAA})$ との成す角を股関節内外転角度と定義した．

③ 股関節内外旋

まず，股関節内外転座標系 Σ_{hipAA} の Z_{hipAA} と同一のベクトルを Z_{hipIER} とし，膝関節内側から膝関節外側に向かう単位ベクトルを S_{hipIER} とした．つぎに， Z_{hipIER} と S_{hipIER} との外積によって得られる単位ベクトルを Y_{hipIER} とし，さらに Y_{hipIER} と Z_{hipIER} との外積によって得られる単位ベクトルを X_{hipIER} とした．そして， X_{hipIER} ， Y_{hipIER} ，および Z_{hipIER} を軸とする座標系を，股関節内外旋座標系 Σ_{hipIER} と定義した．ここで， $X_{hipAA}(Y_{hipAA})$ と X_{hipIER}

($\mathbf{Y}_{\text{hipIER}}$)との成す角を股関節内外旋角度と定義した.

(3) 膝関節

① 膝関節屈曲伸展

まず, 股関節内外旋座標系 Σ_{hipIER} の $\mathbf{X}_{\text{hipIER}}$ と同一のベクトルを $\mathbf{X}_{\text{kneeFE}}$ とし, 足関節から膝関節へ向かう単位ベクトルを $\mathbf{S}_{\text{kneeIER}}$ とした. つぎに, $\mathbf{S}_{\text{kneeIER}}$ と $\mathbf{X}_{\text{kneeFE}}$ との外積によって得られる単位ベクトルを $\mathbf{Y}_{\text{kneeIER}}$ とし, さらに, $\mathbf{X}_{\text{kneeFE}}$ と $\mathbf{Y}_{\text{kneeFE}}$ との外積によって得られる単位ベクトルを $\mathbf{Z}_{\text{kneeFE}}$ とした. そして $\mathbf{X}_{\text{kneeFE}}$ と $\mathbf{Y}_{\text{kneeFE}}$, および $\mathbf{Z}_{\text{kneeFE}}$ を軸とする座標系を, 膝関節屈曲伸展座標系 Σ_{kneeFE} と定義した. ここで, $\mathbf{Y}_{\text{hipIER}}$ ($\mathbf{Z}_{\text{hipIER}}$) と $\mathbf{Y}_{\text{kneeFE}}$ ($\mathbf{Z}_{\text{kneeFE}}$) との成す角を膝関節屈曲伸展角度と定義した.

(4) 足関節

① 関節底背屈

まず, 膝関節屈曲伸展座標系 Σ_{kneeFE} の $\mathbf{X}_{\text{kneeFE}}$ と同一のベクトルを $\mathbf{X}_{\text{ankPDF}}$ とし, 爪先から足関節へ向かう単位ベクトルを $\mathbf{S}_{\text{ankPDF}}$ とした. つぎに $\mathbf{S}_{\text{ankPDF}}$ と $\mathbf{X}_{\text{ankPDF}}$ との外積によって得られる単位ベクトルを $\mathbf{Y}_{\text{ankPDF}}$ とした. さらに, $\mathbf{X}_{\text{ankPDF}}$ と $\mathbf{Y}_{\text{ankPDF}}$ との外積によって得られる単位ベクトルを $\mathbf{Z}_{\text{ankPDF}}$ とした. そして, $\mathbf{X}_{\text{ankPDF}}$, $\mathbf{Y}_{\text{ankPDF}}$, および $\mathbf{Z}_{\text{ankPDF}}$ を軸とする座標系を, 足関節底背屈座標系 Σ_{ankPDF} と定義した. ここで, $\mathbf{Y}_{\text{kneeFE}}$ ($\mathbf{Z}_{\text{kneeFE}}$) と $\mathbf{Y}_{\text{ankPDF}}$ ($\mathbf{Z}_{\text{ankPDF}}$) との成す角を足関節底背屈角度と定義した.

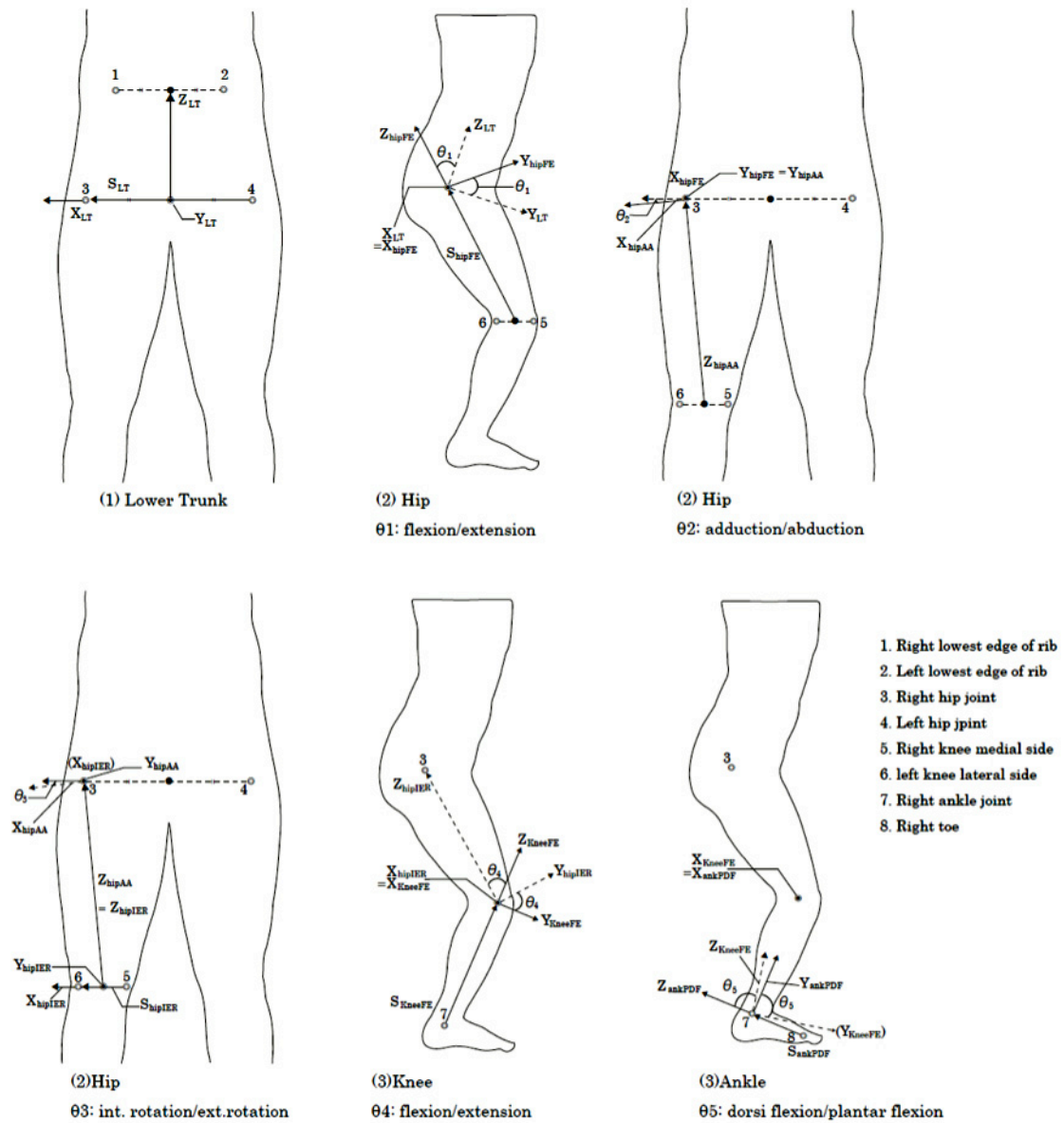


Fig. 3-2 Definitions of moving coordinates on the lower limb joints and of the hip, knee and ankle joint angle

2.4.5 関節トルク，角力積，関節トルクパワー

ニュートン・オイラー法による逆動力学計算を用いて，下記の関節の関節作用モーメントを算出した後，各関節軸の軸方向単位ベクトルとの内積を求め，各関節軸回りの関節トルクを算出し，体重で除することによって体重あたりの関節トルクとした．なお，キネティックデータは，阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて算出した．また，身体各セグメントの角速度ベクトルは，身体セグメントにその姿勢を示す移動座標系を定義し，その移動座標系の各ベクトル成分の時間微分から算出した．各セグメントの移動座標系は，下胴が，下胴座標系，大腿は股関節内外旋座標系，下腿は膝関節内外旋座標系，足部は足関節内外反座標系と一致するものとした．下胴座標系，股関節内外旋座標系は，「2.4.4 関節角度，関節角速度」の項に示した．膝関節内外旋座標系，ならびに足関節内外反座標系は，すべて記述すると煩雑になるため省略する．さらに，股関節，膝関節の伸展トルクならびに，足関節底屈トルク，股関節の内外転・内外旋トルクは，Initiation, Transition, Takeoffのそれぞれの期間で数値積分し，各期間におけるトルクの角力積とした．また，関節角速度と関節トルクを乗して関節トルクパワーを算出した．以下に各トルクの定義を示す．ここでは右側のみを示し，左側は省略する．

(1) 股関節

① 股関節屈曲伸展トルク

股関節作用モーメントベクトルと股関節屈曲伸展座標系 Σ_{hipFE} の $\mathbf{X}_{\text{hipFE}}$ との内積を股関節屈曲伸展トルクと定義した．

② 股関節内外転トルク

股関節作用モーメントベクトルと股関節内外転座標系 Σ_{hipAA} の $\mathbf{Y}_{\text{hipAA}}$ との内積を股関節内外転トルクと定義した.

③ 股関節内外旋トルク

股関節作用モーメントベクトルと股関節内外旋座標系 Σ_{hipIER} の $\mathbf{Z}_{\text{hipIER}}$ との内積を股関節内外旋トルクと定義した.

(2) 膝関節

①膝関節屈曲伸展トルク

膝関節作用モーメントベクトルと膝関節屈曲伸展座標系 Σ_{kneeFE} の $\mathbf{X}_{\text{kneeFE}}$ との内積を膝関節屈曲伸展トルクと定義した.

(3) 足関節

①足関節底背屈トルク

足関節作用モーメントベクトルと足関節底背屈座標系 Σ_{ankPDF} の $\mathbf{X}_{\text{ankPDF}}$ との内積を足関節底背屈トルクと定義した.

2.5 統計処理

前項の測定項目について、距離と高さを要因とした二元配置分散分析の統計処理を行った. 下位検定には **Bonferroni** の方法を用いた. いずれも統計分析に使用したソフトウェアは **SPSS Statistics 19** であった. 統計的検定における有意水準は 5%とした.

Ⅲ. 結果

3.1 ボールまでの到達時間

Table3-1 は、全被験者の分析開始からボールまでの到達時間の平均を示したものである。Near diving, Far diving とも、Upper 試技が、Middle, Lower 試技よりも有意に到達時間が長かった。

3.2 身体重心位置の推移

Fig. 3-3 は、全被験者の横方向、鉛直方向の平均重心位置について Start of analysis から Finish of analysis までの時間を 100%として正規化し、推移を示したものである。横方向では、Near diving, Far diving ともにボールの高さによって推移の仕方は類似していた。また離地時の重心位置をみると、横方向は Near diving, Far diving とも Lower 試技が最もボール側に近づいていた。鉛直方向では Near diving において 40%付近までは、いずれの高さの試技も同様の方向へ推移しているが、50%から 60%の時点にかけて、Upper, Middle, Lower のボール方向へと推移している様子がみられた。Far diving においても同じく 30%付近までは同様の方向へ推移し、40%から 60%の時点にかけて、Upper, Middle, Lower のボール方向へと推移している様子がみられた。

Table3-1 Means of reaching time. Reaching time indicates the duration starting from start of Initiation until finish of Takeoff.

Means of reaching time(s)	Near Upper	0.69(.07)	} *
	Near Middle	0.54(.07)	
	Near Lower	0.55(.08)	
	Far Upper	0.61(.05)	} *
	Far Middle	0.47(.05)	
	Far Lower	0.48(.07)	

* Indicates a significant difference between each heights ($P < .05$) within each period. n=11 (S.D.)

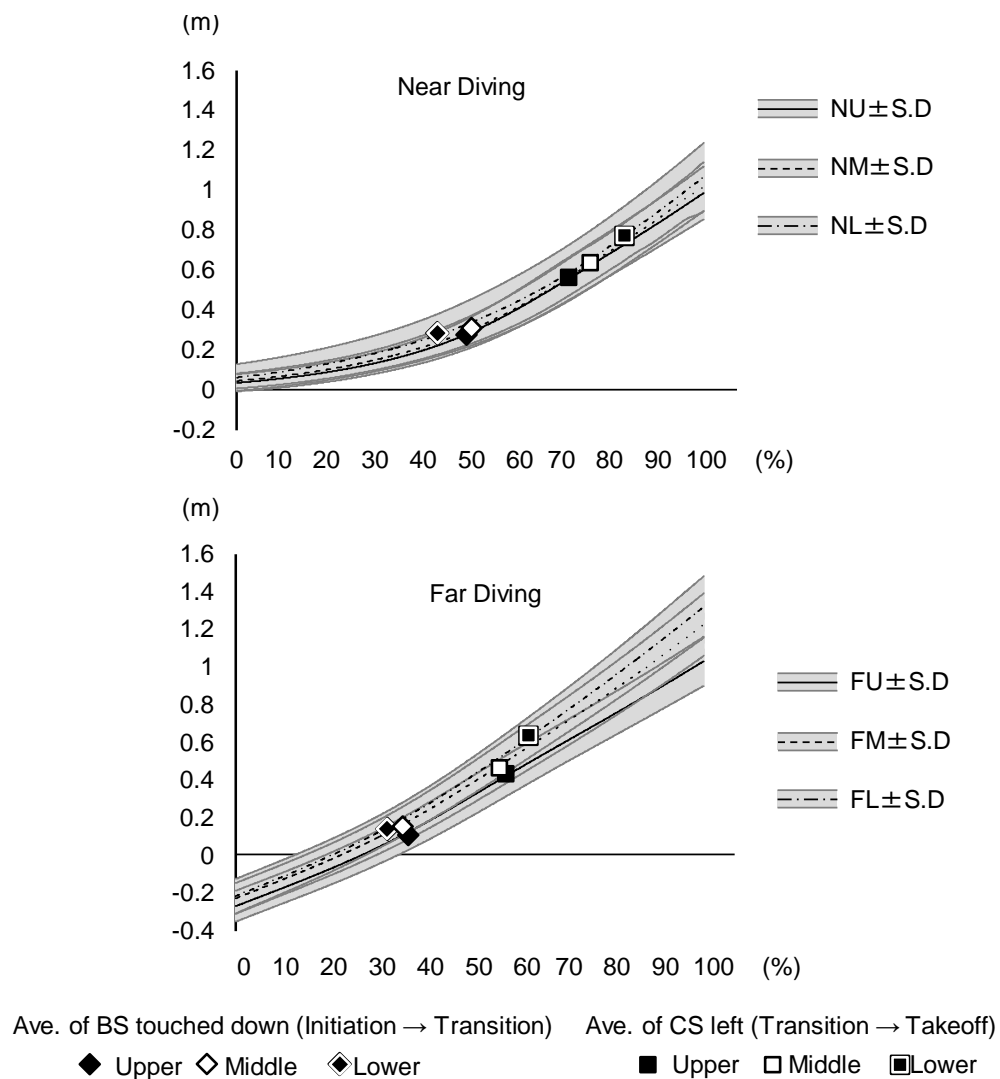


Fig. 3-3-1 Means of trajectory in center of gravity during diving (Horizontal direction). NU(Near Upper), NM(Near Middle), NL(Near Lower). FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

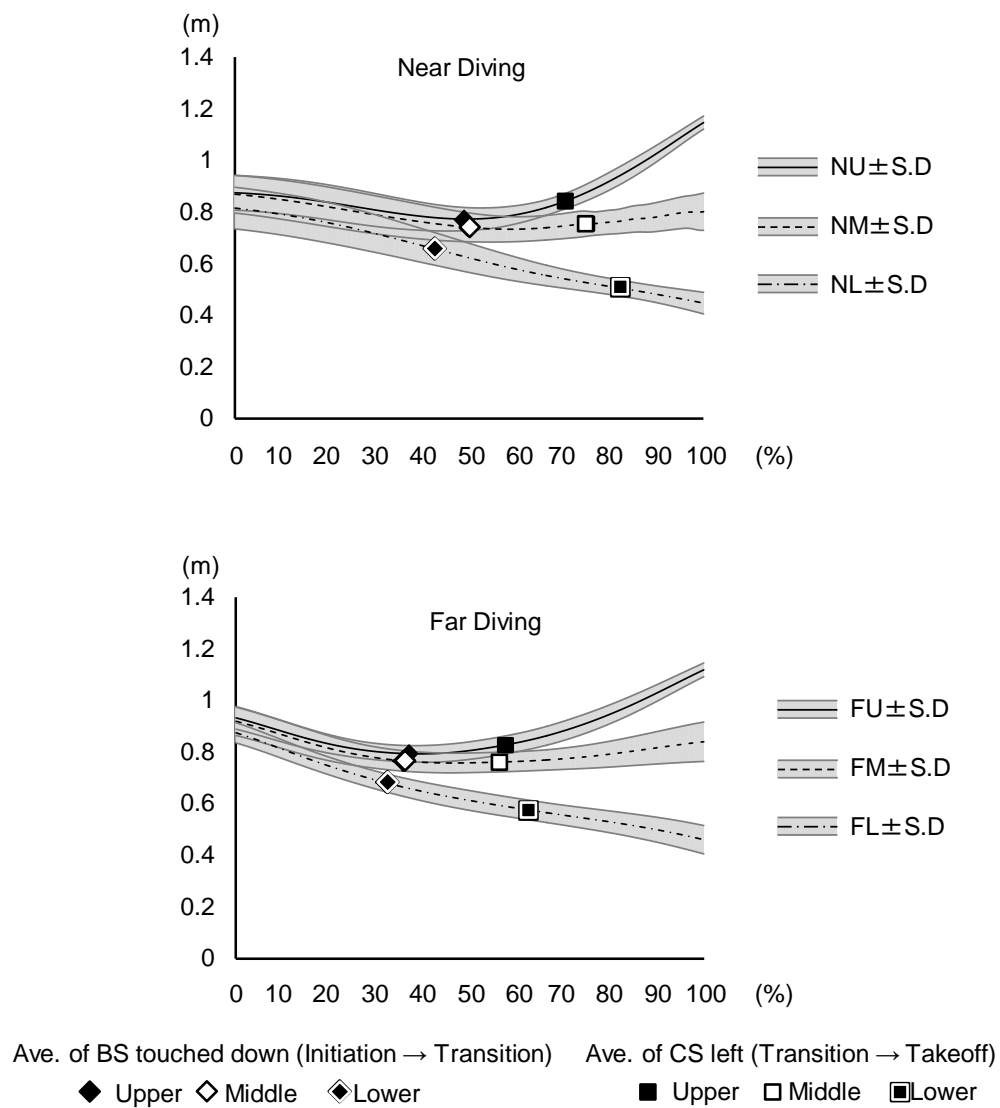


Fig. 3-3-2 Means of trajectory in center of gravity during diving (Vertical direction).
 NU(Near Upper), NM(Near Middle), NL(Near Lower). FU(Far Upper), FM(Far Middle),
 FL(Far Lower).

3.3 地面反力

3.3.1 地面反力の推移

Fig. 3-4 は、被験者 A の体重あたりの地面反力の推移を示したものである。ここでは 0s が Start of analysis となる。被験者 A は、各グラフの波形が典型的であり、かつ身長、体重が平均に近いため、Typical な被験者とした。Near diving ではフォースプレート上に立った状態から動作を開始しているため、0s の時点で既に地面反力が発揮されていた。

ボールの高さによる地面反力の推移の違いをみると、Near diving, Far diving とともに CS 脚における横方向（静止座標系の Y 方向）の波形は、値の大きさに違いは多少みられるものの類似していた。鉛直方向（静止座標系の Z 方向）も波形は類似していたが、Upper 試技の方が他の高さよりもピーク値が大きかった。

BS 脚においては Near diving, Far diving とともに接地後に示す横方向の地面反力の波形が高さによって異なっていた。特に Upper 試技の波形は負の値を示す期間があり、その期間は鉛直方向の地面反力の上昇を示す期間とほぼ一致していた。また鉛直方向では CS 脚同様に Upper 試技の方が、他の高さよりもピーク値が大きかった。

Near diving と Far diving による地面反力の推移の違いをみると、同じ高さの試技の波形は類似していた。また、Far diving では鉛直方向の地面反力において、両脚とも接地時の衝撃力とみられる大きな値の変動がみられた。

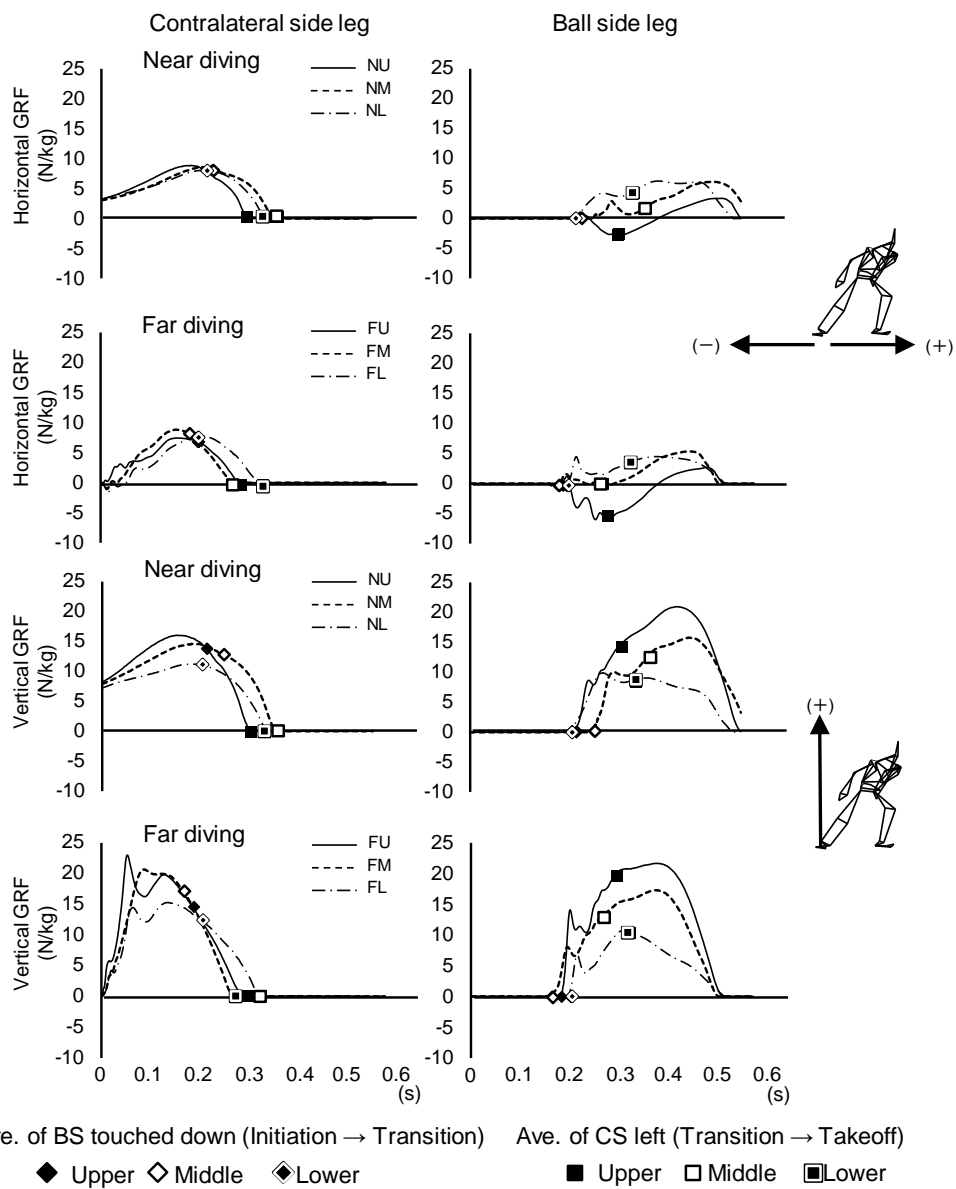


Fig. 3-4 Typical patterns of changes in ground reaction force (GRF) during diving. NU(Near Upper), NM(Near Middle), NL(Near Lower). FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

3.3.2 ダイビング中の地面反力ベクトル

Fig. 3-5 は, Typical な被験者 A の各試技の Start of analysis から Finish of analysis までの時間を 100%として正規化し, 10%ごとにそれぞれの時点における各高さのステイックピクチャー (GK 後方から捉えた図, ボールは右側にある), ならびにその時点における横・鉛直ベクトルを示したものである. ボールの高さや発揮される脚によって, ベクトルの向き, 大きさが異なっていることが分かる. ベクトルの向きに着目すると, Near diving, Far diving とともに, 同一時点における各試技のベクトルの角度が, CS 脚より BS 脚において大きく異なっている様子がみられた. また同じくベクトルの大きさに着目すると, それぞれの脚において高いボールの方が大きい様子がみられた. すなわち, それぞれの脚とも高いボールほど大きな地面反力を発揮している様子と, BS 脚の方が様々な方向に力が発揮されている様子が示された.

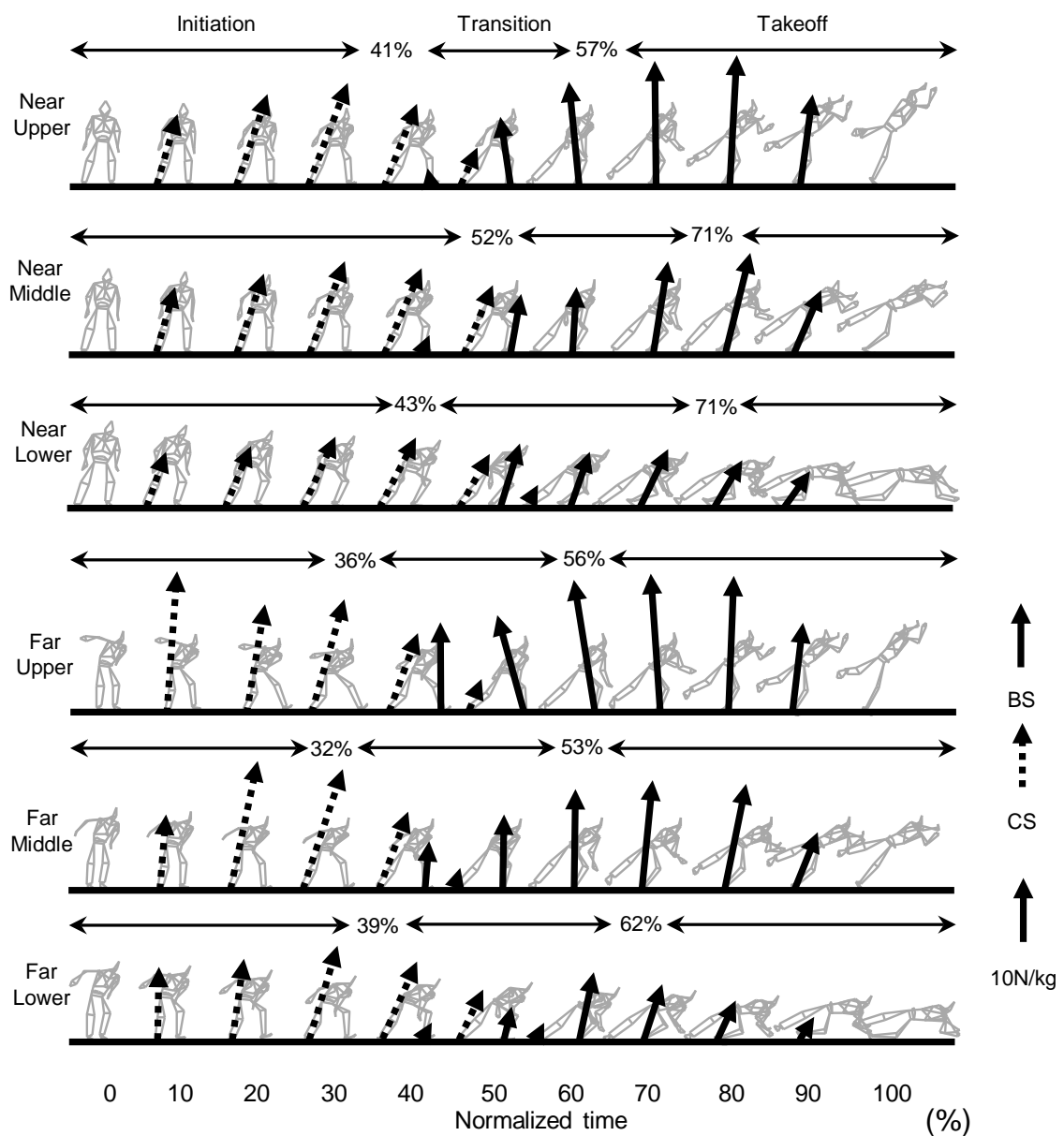


Fig. 3-5 Typical patterns of changes in diving motion. This stick picture shows the transition of diving motion. It starts from 0% and finishes at 100%. And this arrow shows the vector of ground reaction force (GRF). Dotted vectors indicates GRF of Contralateral side leg. Solid vectors indicates GRF of Ball side leg. The difference in slope and magnitude of the GRF vector can be seen.

また Table 3-2 は、全被験者の体重あたりの地面反力について Start of analysis から Finish of analysis までの時間を 100%として正規化し、横・鉛直ベクトルの大きさと水平面からの角度の平均を 10%ごとに示したものである。前章の 2.4.2 の定義より、値の小さい区間を除いた CS 脚においては試技の 10%～50%の期間、BS 脚においては 50%～90%の期間のデータを示した。

その結果、ベクトルの大きさ、角度は、試技間で有意に異なっていた。CS 脚におけるベクトルの大きさについて、ボールの高さによる違いをみると、20%、30%、50%の時点では、Upper 試技、Middle 試技が Lower 試技より大きく、40%の時点では、Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で大きかった。すなわち CS 脚では、20%以降では Upper 試技が Lower 試技より大きなベクトルであった。また Near diving と Far diving による違いをみると、10%の時点では、Upper 試技で Far diving が、Near diving よりも大きく、20%、30%の時点では、いずれの高さでも Far diving が、Near diving よりも大きかった。50%の時点では、いずれの高さでも Near diving が、Far diving よりも大きかった。

次に地面反力ベクトルの角度についてボールの高さによる違いをみると、20～40%の間は、Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で大きかった。すなわち 20～40%の間は、同一時点では Upper 試技の方が上向きに力を発揮していた。また Near diving と Far diving による違いをみると、20%、50%の時点では、Far diving が、Near diving よりも大きかった。

BS 脚におけるベクトルの大きさについて、ボールの高さによる違いをみると、60%の時点では、Far diving において Upper 試技が Middle 試技、Lower 試技よりも大きかった。

70%の時点では、Near DivingにおいてUpper 試技がMiddle 試技、Lower 試技よりも大きく、Far divingにおいてUpper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で大きかった。80%、90%の時点では、Near、Far divingともUpper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で大きかった。またNear divingとFar divingによる違いをみると、50%、60%の時点では、Far divingが、Near divingよりも大きく、70%の時点ではUpper 試技、Middle 試技でFar divingが、Near divingよりも大きかった。90%の時点では、いずれの高さでもNear divingが、Far divingよりも大きかった。すなわちBS脚では、60%以降はUpper 試技が他の試技よりも大きなベクトルであった。また50～70%の時点では、Far divingが、Near divingよりも大きなベクトルである傾向があった。しかし、離地直前の90%の時点では、Near divingの方が大きなベクトルであった。

また、ベクトルの角度についてボールの高さによる違いをみると、60～80%の間は、Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で大きかった。90%の時点ではUpper 試技がMiddle 試技、Lower 試技よりも大きかった。またNear divingとFar divingによる違いをみると、60%の時点では、Far divingが、Near divingよりも大きかった。すなわち、60%以降はUpper 試技ほど、より上向きのベクトルであった。また、60%の時点では、Far divingが、Near divingよりも上向きのベクトルであった。

Table3-2 Means of magnitude and angle of ground reaction force vector (Y-Z direction).

		Contralateral side leg					
		10	20	30	40	50	(%)
Magnitude of GRF Vector (N/kg)	Near Upper	7.55(2.42)	9.94(2.92)	13.68(4.29)	16.10(3.12)	16.62(3.71)	
	Near Middle	9.26(2.45)	11.26(2.77)	13.44(3.62)	14.74(3.28)	15.12(3.00)	*
	Near Lower	7.91(2.64)	8.58(2.55)	10.12(1.63)	11.00(1.62)	9.75(3.11)	*
	Far Upper	13.95(6.27)	20.97(2.65)	21.86(2.75)	16.71(3.40)	7.45(5.07)	*
	Far Middle	11.28(3.74)	20.07(4.41)	20.91(2.54)	14.01(1.62)	3.36(3.35)	*
	Far Lower	10.14(4.20)	14.41(5.09)	14.60(5.15)	10.94(4.37)	4.41(4.15)	*
Angle of GRF Vector (rad.)	Near Upper	1.23(0.05)	1.21(0.05)	1.17(0.06)	1.13(0.06)	1.08(0.06)	
	Near Middle	1.21(0.06)	1.18(0.07)	1.14(0.07)	1.09(0.07)	1.05(0.06)	*
	Near Lower	1.18(0.08)	1.12(0.07)	1.08(0.07)	1.03(0.07)	1.02(0.09)	*
	Far Upper	1.42(0.11)	1.31(0.05)	1.18(0.05)	1.11(0.05)	1.24(0.25)	*
	Far Middle	1.15(0.82)	1.25(0.07)	1.13(0.05)	1.06(0.04)	1.30(0.57)	*
	Far Lower	1.37(0.19)	1.21(0.07)	1.08(0.05)	0.99(0.04)	1.54(0.73)	*
		Ball side leg					
		50	60	70	80	90	(%)
Magnitude of GRF Vector (N/kg)	Near Upper	2.90(3.90)	10.39(3.32)	16.04(2.36)	17.54(2.65)	13.59(2.93)	
	Near Middle	3.73(3.25)	7.42(4.09)	10.90(3.40)	12.32(2.16)	9.98(2.26)	*
	Near Lower	5.48(3.90)	7.63(3.11)	8.77(2.15)	8.60(2.22)	6.33(2.75)	*
	Far Upper	12.22(5.10)	18.50(2.02)	20.21(2.12)	19.12(2.95)	12.08(2.55)	*
	Far Middle	10.36(3.24)	13.63(1.63)	14.71(1.84)	13.51(2.09)	8.08(2.01)	*
	Far Lower	8.41(3.32)	10.13(3.70)	9.27(3.41)	7.43(3.17)	5.03(2.33)	*
Angle of GRF Vector (rad.)	Near Upper	1.44(0.49)	1.53(0.12)	1.57(0.09)	1.48(0.09)	1.37(0.10)	*
	Near Middle	1.44(0.66)	1.24(0.25)	1.28(0.11)	1.21(0.10)	1.06(0.09)	*
	Near Lower	1.34(0.33)	1.15(0.12)	1.10(0.16)	1.05(0.16)	1.02(0.25)	*
	Far Upper	1.72(0.15)	1.71(0.08)	1.58(0.15)	1.48(0.10)	1.33(0.12)	*
	Far Middle	1.45(0.11)	1.44(0.11)	1.32(0.12)	1.18(0.11)	1.00(0.10)	*
	Far Lower	1.38(0.14)	1.28(0.18)	1.17(0.23)	0.99(0.13)	0.89(0.11)	*

* Indicates a significant difference between each heights (P<.05) within each period.
† Indicates a significant difference between near and far diving (P<.05) within each period.
n=11 (S.D).

3.3.3 地面反力の力積

Table3-3 は、それぞれの脚における横方向、鉛直方向の体重あたりの地面反力の力積を局面ごとに示したものである。

その結果、それぞれの脚における横方向、鉛直方向の体重あたりの地面反力の力積は、試技間で有意に異なっていた。横方向の地面反力の力積についてボールの高さによる違いをみると、CS 脚においては Initiation で Upper 試技が、Lower 試技よりも大きかった。また Near diving と Far diving による違いをみると、Initiation, Transition とともに Near diving が、Far diving よりも大きかった。BS 脚におけるボールの高さによる違いをみると、Transition では、Lower 試技、Middle 試技、Upper 試技の順で大きかった。Takeoff では Near Diving は、Middle 試技が Upper 試技よりも大きく、Far diving は、Middle 試技、Lower 試技が Upper 試技よりも大きかった。また Near diving と Far diving による違いをみると、Transition では Near diving が、Far diving よりも大きかった。また Takeoff では Lower 試技は、Far diving が Near diving よりも大きかった。

鉛直方向への地面反力の力積についてボールの高さによる違いをみると、CS 脚においては Initiation では Upper 試技、Middle 試技が、Lower 試技より大きかった。また Near diving と Far diving による違いをみると、Initiation , Transition とともに Near diving が、Far diving よりも大きかった。BS 脚においてはボールの高さによる違いをみると、Transition では Upper 試技、Lower 試技が、Middle 試技より大きかった。Takeoff では、Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で力積が大きかった。また Near diving と Far diving による違いをみると、Transition では Near diving が Far diving よりも大きく、

Takeoff では, Far diving が Near diving よりも大きかった. すなわち CS 脚は横方向, 鉛直方向とも Initiation では Upper 試技が Lower 試技よりも大きな力積であった. また Initiation, Transition を通して, Near diving が Far diving よりも大きな力積であった. BS 脚は, 横方向では, Transition において Lower 試技が他の高さよりも大きな力積であり, FarDiving では Takeoff においても同様の結果であった. 一方, 鉛直方向では Takeoff において Upper 試技が他の高さよりも大きな力積であった. また, Transition においては横方向, 鉛直方向とも Near diving が Far diving より大きな力積であった. しかし Takeoff においては, 横方向の Lower 試技と鉛直方向のすべての試技で, Far diving が Near diving よりも大きな力積であった.

Table3-3 Impulse of ground reaction force with each period (N/kg).

		Initiation	Transition	Transition	Takeoff
		Contralateral side leg		Ball side leg	
Horizontal GRF (N/kg)	Near Upper	1.37 (0.40)	0.61 (0.31)	0.06 (0.15)	0.22 (0.16)
	Near Middle	1.37 (0.43) *	0.71 (0.31)	0.28 (0.17) *	0.56 (0.12) *
	Near Lower	0.94 (0.45)	0.91 (0.36)	0.57 (0.24)	0.42 (0.23)
	Far Upper	0.75 (0.27)	0.46 (0.26)	-0.13 (0.10)	0.05 (0.24)
	Far Middle	0.75 (0.34) *	0.45 (0.24)	0.06(0.08) *	0.64 (0.19) *
	Far Lower	0.59 (0.23)	0.64 (0.25)	0.16 (0.13)	0.67 (0.21)
Vertical GRF (N/kg)	Near Upper	3.20(0.88)	1.21 (0.66)	1.30 (0.42)	2.38 (1.09)
	Near Middle	3.03 (0.82) *	1.25 (0.56)	0.89 (0.29) *	1.46 (0.58) *
	Near Lower	1.98 (0.95)	1.42 (0.57)	1.31 (0.45) *	0.72 (0.44)
	Far Upper	2.56 (0.58)	0.96 (0.53)	0.98 (0.34)	3.00 (0.65)
	Far Middle	2.27 (0.70) *	0.87 (0.48)	0.62 (0.28) *	2.24 (0.45) *
	Far Lower	1.71 (0.50)	1.07 (0.36)	0.96 (0.59)	1.34 (0.49)

* Indicates a significant difference between each heights (P<.05) within each period.

† Indicates a significant difference between near and far diving (P<.05) within each period.
n=11 (S.D).

3.4 関節トルクと角速度

3.4.1 関節角速度，関節トルク，関節トルクパワーの推移

Fig. 3-6 は，被験者 A の股関節，膝関節における屈伸，足関節における底背屈，股関節における内外転，内外旋軸の関節角速度，関節トルク，関節トルクパワーを示したものである．関節角速度，関節トルクのグラフにおける正の値は，伸展，底屈，内転，内旋を示し，負の値は屈曲，背屈，外転，外旋を示している．

まず，股関節，膝関節の屈伸，足関節の底背屈についてみると，股関節（Fig.3-6-1）は CS 脚において，いずれの試技とも Initiation 前半に角速度が屈曲の値を示していた．Far diving では Near diving よりも，角速度が屈曲の値を示す期間は短かった．関節トルクは Initiation から Transition 後半まで伸展を示し，離地直前で屈曲の値へと変わっていた．関節トルクパワーは，Initiation 前半に負の値を示しているが，その後 Transition にかけて正の値を示していた．BS 脚において角速度は，いずれの試技とも BS touched down 付近で屈曲の値から伸展の値へ変わっていた．また関節トルクは，接地中に伸展の値を示しており，関節トルクパワーは，接地後に一時的に負の値を示していたが，それ以降は正の値を示していた．

膝関節（Fig.3-6-2）は CS 脚において，いずれの試技とも Initiation 前半に角速度が屈曲の値を示しており，Far diving では Near diving よりも，大きな屈曲の値を示していた．また関節トルクは，Initiation から Transition 後半まで伸展を示し，離地直前で屈曲の値へと変わっていた．関節トルクパワーは，Initiation 前半に負の値を示しているが，その後 Transition にかけて正の値を示していた．また，Far diving では Near diving よりも，短期

間で負から正の値への大きな変動がみられた。BS脚においては角速度が、Near divingでは接地中に伸展の値を示しているが、Far divingではTransitionにおいて屈曲の値を示していた。また関節トルクは、いずれの試技とも接地時に屈曲の値を示していたが、それ以降は伸展の値を示していた。関節トルクパワーは、TransitionにおいてNear divingでは、ほぼゼロに近い値で推移し、Far divingでは負の値を示していた。その後いずれの試技もTakeoffでは上昇する傾向を示した。

足関節 (Fig.3-6-3) は CS 脚において、角速度は Near diving では Initiation において小さな背屈の値を示しており、その後 Transition にかけて底屈の値を示していた。Far diving では Initiation 前半に角速度が背屈の値を示し、その後 Transition にかけて底屈の値を示していた。また関節トルクは接地中に底屈の値を示していた。関節トルクパワーは、Near diving では Initiation においてほぼゼロに近い値で推移し、Transition にかけて正の値を示していた。Far diving では Initiation 前半に負の値を示し、その後 Transition にかけて正の値を示していた。BS 脚においては Transition にかけての角速度が背屈の値を示し、その後底屈の角速度へと推移していた。また関節トルクは、Far diving では接地時に背屈の値を一時的に示していたが、その後いずれの試技も、底屈の値を示していた。関節トルクパワーは、Near diving では Transition にかけて小さな負の値を示し、その後正の値を示していた。また、Far diving では Near diving よりも、負から正の値への大きな変動がみられた。

次に、股関節の内外転についてみると (Fig.3-6-4), CS 脚は、いずれの試技とも Initiation において関節角速度、トルクが外転の値を示し、正の関節トルクパワーを発揮していた。

BS 脚は, Transition において, 角速度が Upper 試技, Middle 試技ではゼロに近い値を示しているが, Lower 試技では内転の値を示していた. またいずれの試技とも, 関節トルクは内転の値を示しており, 関節トルクパワーは, 正の値を示し, Lower 試技ほど大きな値を示す傾向がみられた.

また, 股関節の内外旋についてみると (Fig.3-6-5), CS 脚は, Near Diving では Initiation 前半において関節角速度, トルク, トルクパワーともゼロに近い値を示し, Initiation 後半においては関節角速度, トルクが外旋の値を示し, 正の関節トルクパワーを発揮していた. Far Diving では Initiation 前半において関節角速度, トルクが内旋の値を示し, 正の関節トルクパワーを発揮していた. Initiation 後半においては Near Diving と同様に関節角速度, トルクが外旋の値を示し, 正の関節トルクパワーを発揮していた. BS 脚は, Transition から Takeoff 前半にかけて, 関節角速度, トルク, トルクパワーともゼロに近い値, もしくは小さな値で内外旋を推移していた. Takeoff 後半においては, NU, FU, FM 試技において, 関節角速度, トルクが外旋の値を示しており, 関節トルクパワーは, 正の値を示していた.

なお, この時の BS touched down から, CS left のタイミングまで (Transition 期間) は, Near Diving における Upper 試技 (NU) が 0.22 秒-0.31 秒, Middle 試技 (NM) が 0.26 秒-0.35 秒, Lower 試技 (NL) が 0.20 秒-0.34 秒であった. また Far Diving における Upper 試技 (FU) が 0.17 秒-0.26 秒, Middle 試技 (FM) が 0.15 秒-0.24 秒, Lower 試技 (FL) が 0.18 秒-0.29 秒であった.

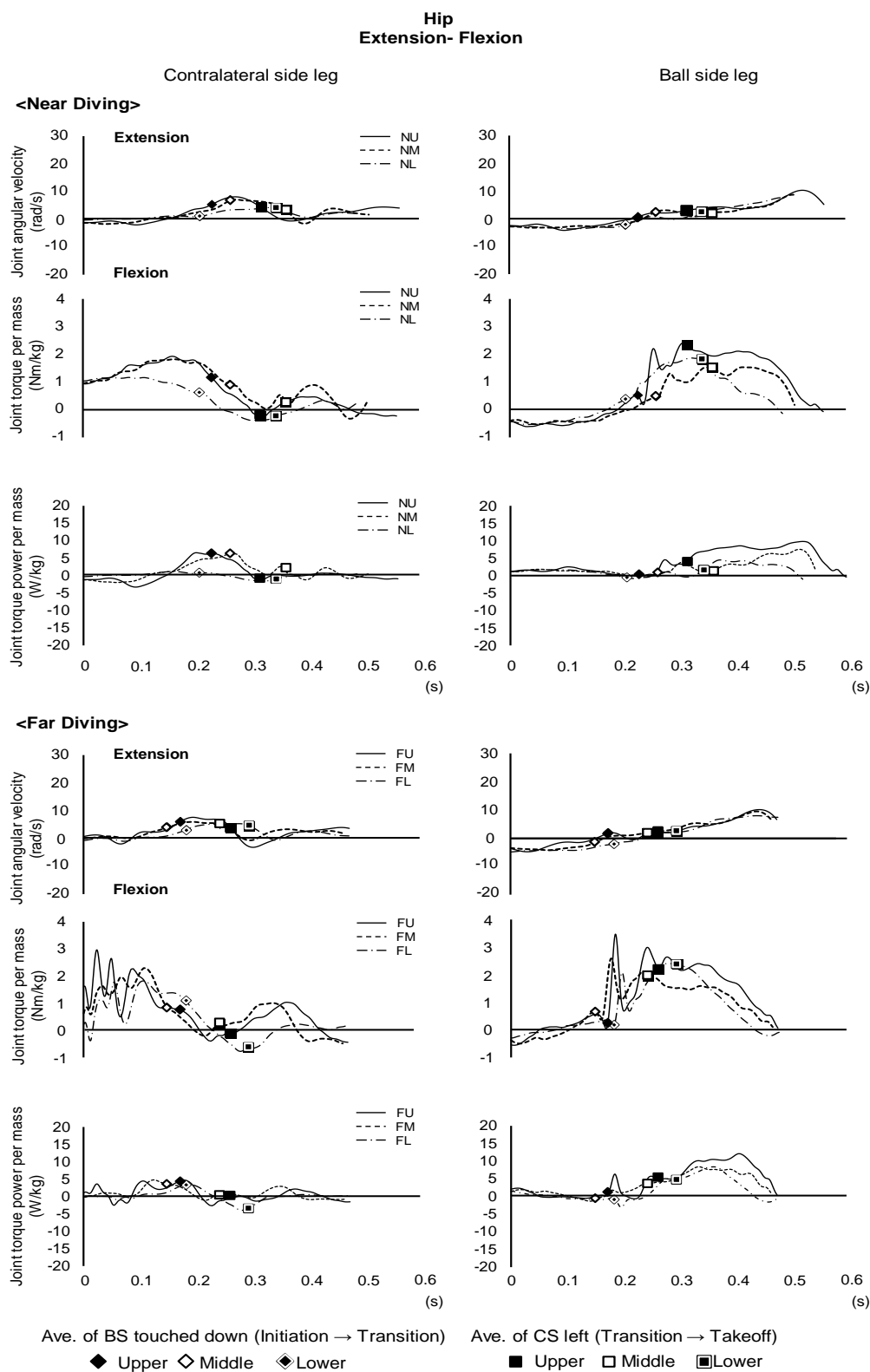


Fig. 3-6-1 Typical patterns of changes in joint angular velocity and joint torque, joint torque power of hip. Positive values mean extension, negative values mean flexion. NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower), FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

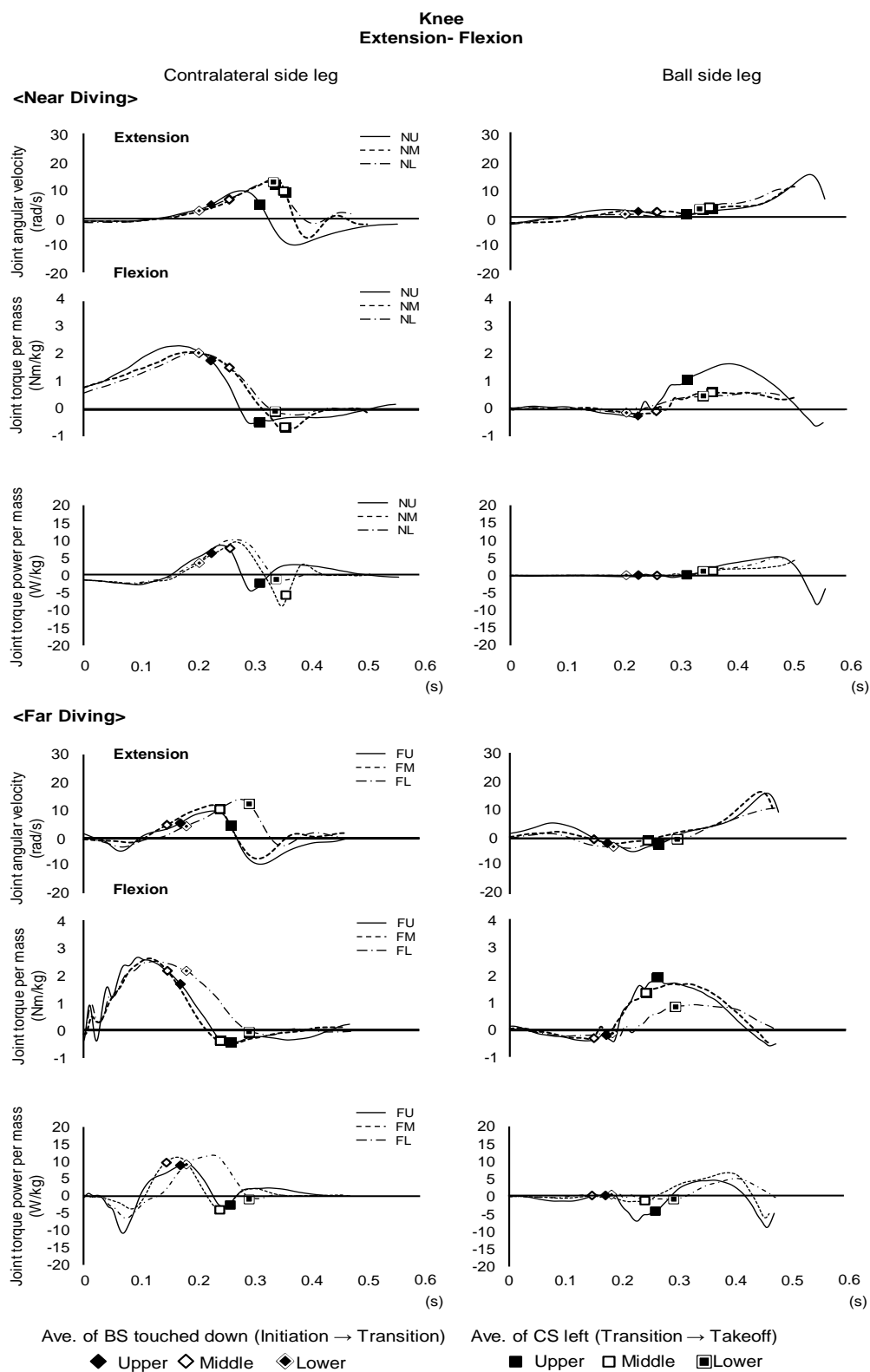


Fig. 3-6-2 Typical patterns of changes in joint angular velocity and joint torque, joint torque power of knee. Positive values mean extension, negative values mean flexion. NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower), FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

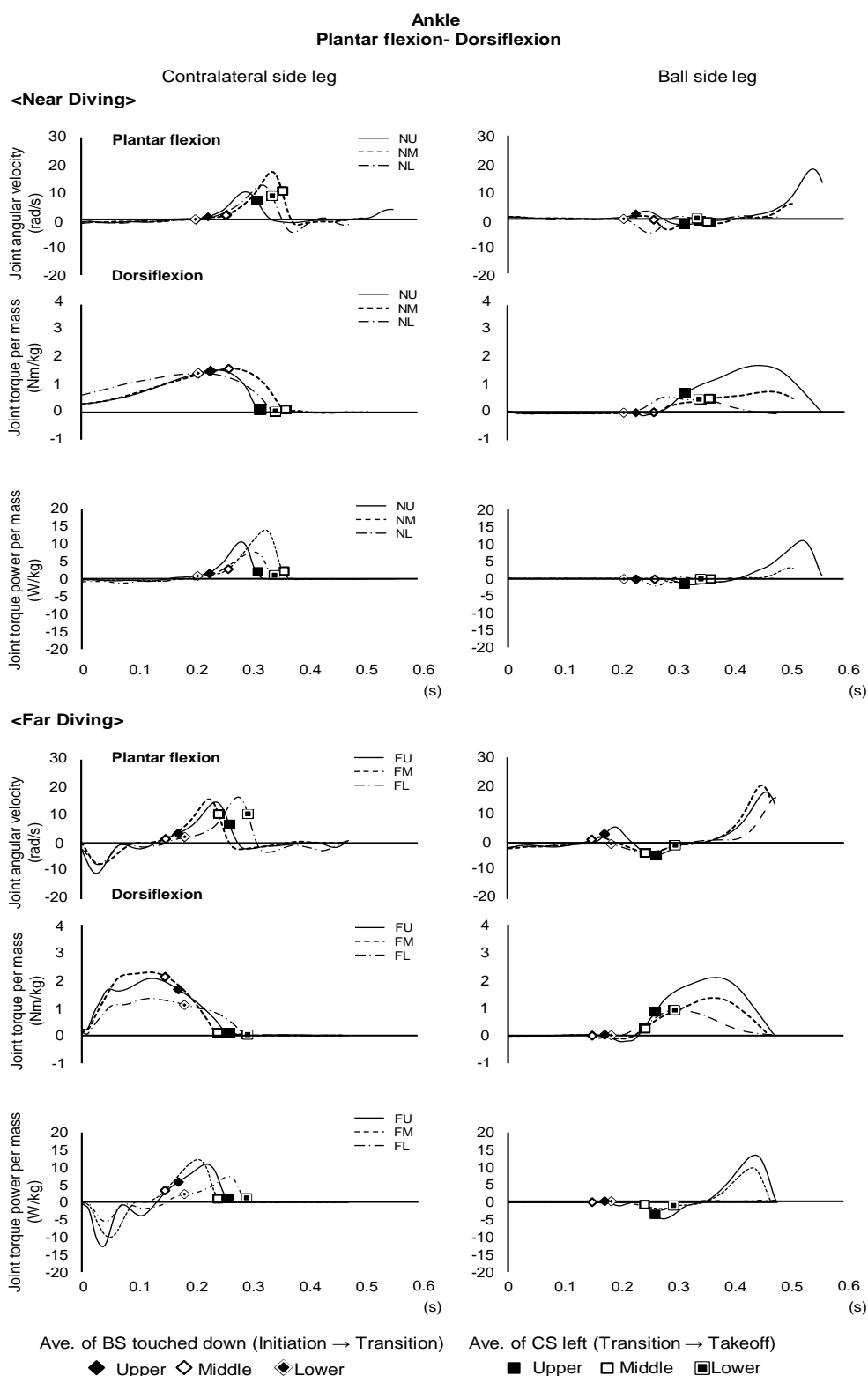


Fig. 3-6-3 Typical patterns of changes in joint angular velocity and joint torque, joint torque power of ankle. Positive values mean plantar flexion, negative values mean dorsal flexion. NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower), FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

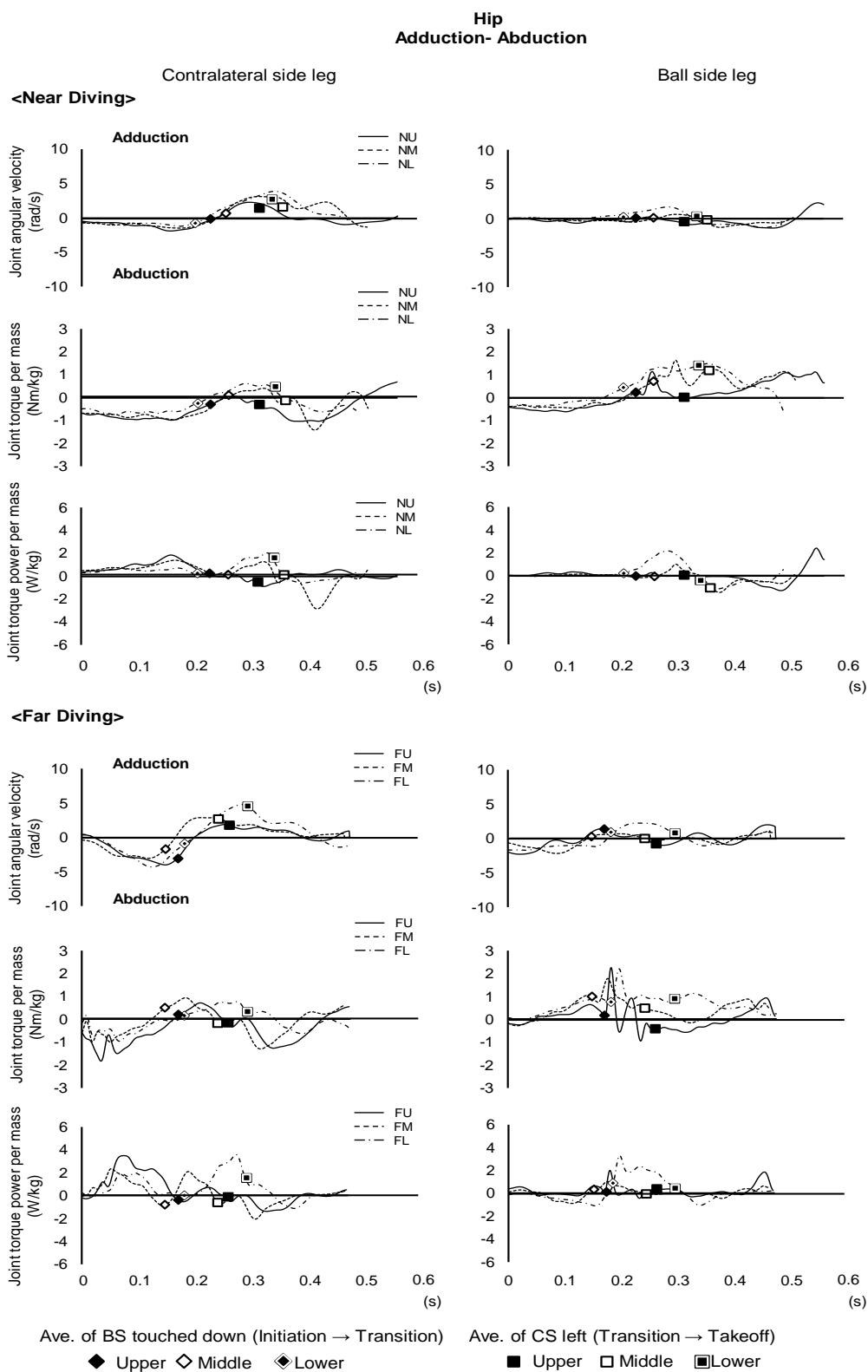


Fig. 3-6-4 Typical patterns of changes in joint angular velocity and joint torque, joint torque power of hip. Positive values mean adduction, negative values mean abduction. NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower), FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

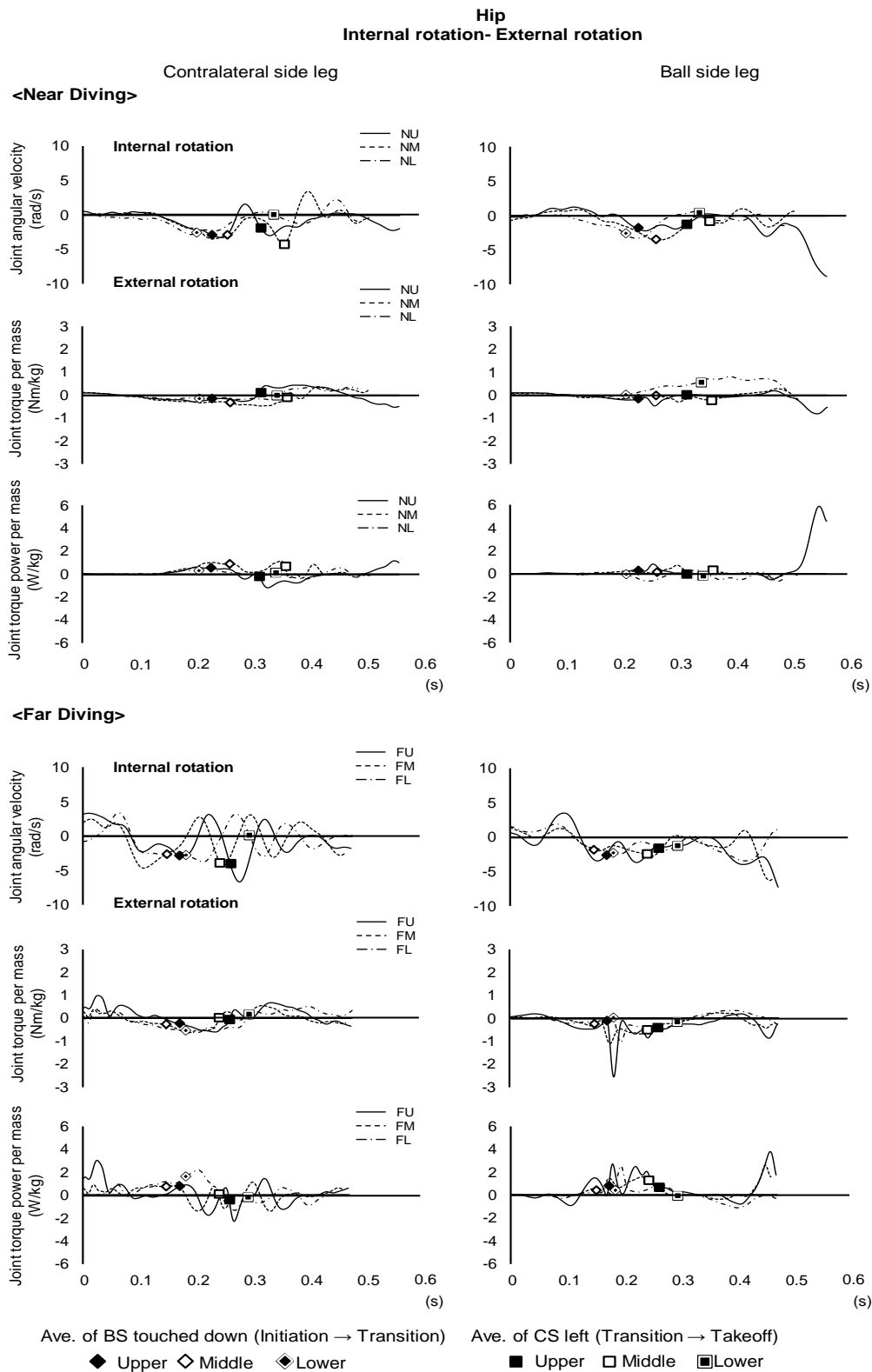


Fig. 3-6-5 Typical patterns of changes in joint angular velocity and joint torque, joint torque power of hip. Positive values mean internal rotation, negative values mean external rotation. NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower), FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

3.4.2 関節トルクの角力積

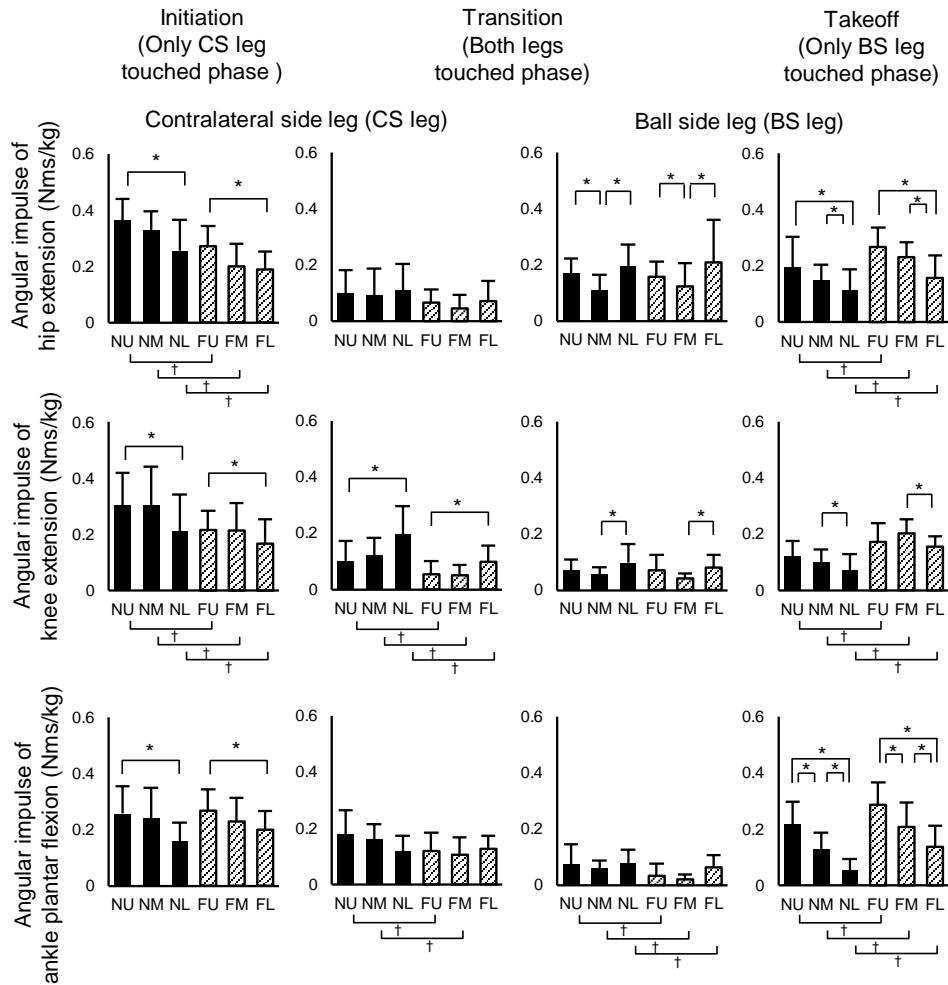
Fig. 3-7 は、全被験者のそれぞれの脚における股関節、膝関節、足関節による体重あたりの伸展トルクの角力積の平均を局面ごとに示したものである。その結果、それぞれの角力積の平均は、試技間で有意に異なっていた。CS 脚におけるボールの高さによる違いをみると、Initiation では股関節、膝関節、足関節においては、Upper 試技が、Lower 試技よりも大きかった。Transition においては、膝関節で、Lower 試技が、Upper 試技よりも有意に大きかった。Near diving と Far diving による違いをみると、Initiation において股関節、膝関節で Near diving が、Far diving よりも大きかった。Transition においては、膝関節で、Near diving が、Far diving よりも大きかった。足関節では、Upper 試技と Middle 試技で Near diving が、Far diving よりも大きかった。すなわち CS 脚は Initiation において、いずれの関節も Upper 試技が Lower 試技よりも大きな角力積であった。また、Near diving が Far diving よりも大きな角力積を示す傾向にあった。

BS 脚におけるボールの高さによる違いをみると、Transition において股関節で Upper 試技、Lower 試技が、Middle 試技よりも大きかった。膝関節では Lower 試技が、Middle 試技よりも大きかった。Takeoff においては、股関節で Upper 試技、Middle 試技が、Lower 試技よりも大きかった。膝関節では、Middle 試技が、Lower 試技よりも大きかった。また、足関節では Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で大きかった。Near diving と Far diving による違いをみると、Transition において足関節で Near diving が、Far diving よりも大きかった。Takeoff においては、いずれの関節とも Far diving が、Near diving よりも大きかった。すなわち BS 脚における Takeoff においては、股関節と足関節

で Upper 試技が Lower 試技よりも大きな角力積であった。また、いずれの関節とも Far diving が Near diving よりも大きな角力積であった。

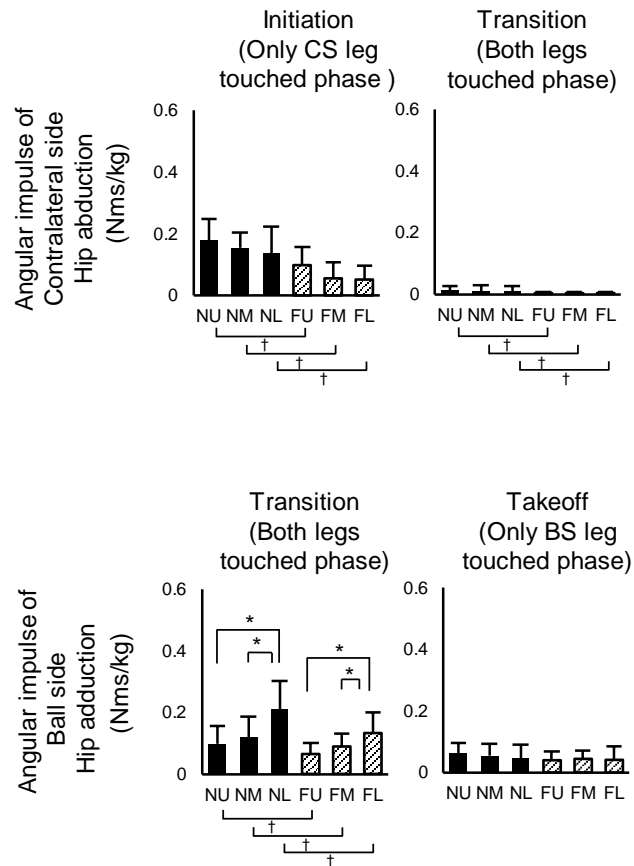
Fig. 3-8 は、体重あたりの CS 脚股関節外転トルク、BS 脚股関節内転トルクの角力積の平均を示したものである。その結果、それぞれの角力積の平均は、試技間で有意に異なっていた。CS 脚股関節外転トルクは、Initiation において Near diving が、Far diving よりも大きかった。また Transition においても有意な差はみられたが、Initiation と比べると、値は非常に小さかった。BS 脚股関節内転トルクは、Transition において Lower 試技が、Middle, Upper 試技よりも大きく、Near diving が Far diving よりも大きかった。すなわち CS 脚股関節外転トルク、BS 脚股関節内転トルクともに Initiation と Transition では Near diving が Far diving よりも大きな角力積であった。また Transition において、Lower 試技が他の高さよりも、大きな BS 脚股関節内転トルクの角力積であった。

Fig. 3-9 は、それぞれの脚における体重あたりの股関節内外旋トルクの角力積の平均を示したものである。その結果、CS 脚股関節内旋トルクの角力積は有意な差はみられなかったが、その他の CS 脚股関節外旋、BS 脚股関節内外旋における角力積は、試技間で有意に異なっていた。CS 脚股関節外旋トルクは、Transition において、Lower 試技が他の高さよりも大きかった。BS 脚股関節内旋トルクは、Transition, Takeoff において Lower 試技が他の高さよりも大きく、Transition においては Near diving が Far diving よりも大きかった。また、BS 脚股関節外旋トルクは、Transition において Upper 試技が Middle 試技よりも大きく、Takeoff においては Upper 試技が他の高さよりも大きかった。また、Transition, Takeoff において Far diving が Near diving よりも大きかった。



* Indicates a significant difference between each heights (P<.05)
† Indicates a significant difference between near and far diving (P<.05)

Fig. 3-7 Means of each angular impulse per mass (Nms/kg). Upper figures show hip extension. Middle figures show knee extension. Lower figures show ankle plantar flexion. NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower). FU (Far Upper), FM (Far Middle), FL (Far Lower).



* Indicates a significant difference between each heights ($P < .05$)
† Indicates a significant difference between near and far diving ($P < .05$)

Fig. 3-8 Means of each angular impulse per mass (Nms/kg). Upper figures show Contralateral side leg's hip abduction. Lower figures show Ball side leg's hip adduction. NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower). FU (Far Upper), FM (Far Middle), FL (Far Lower).

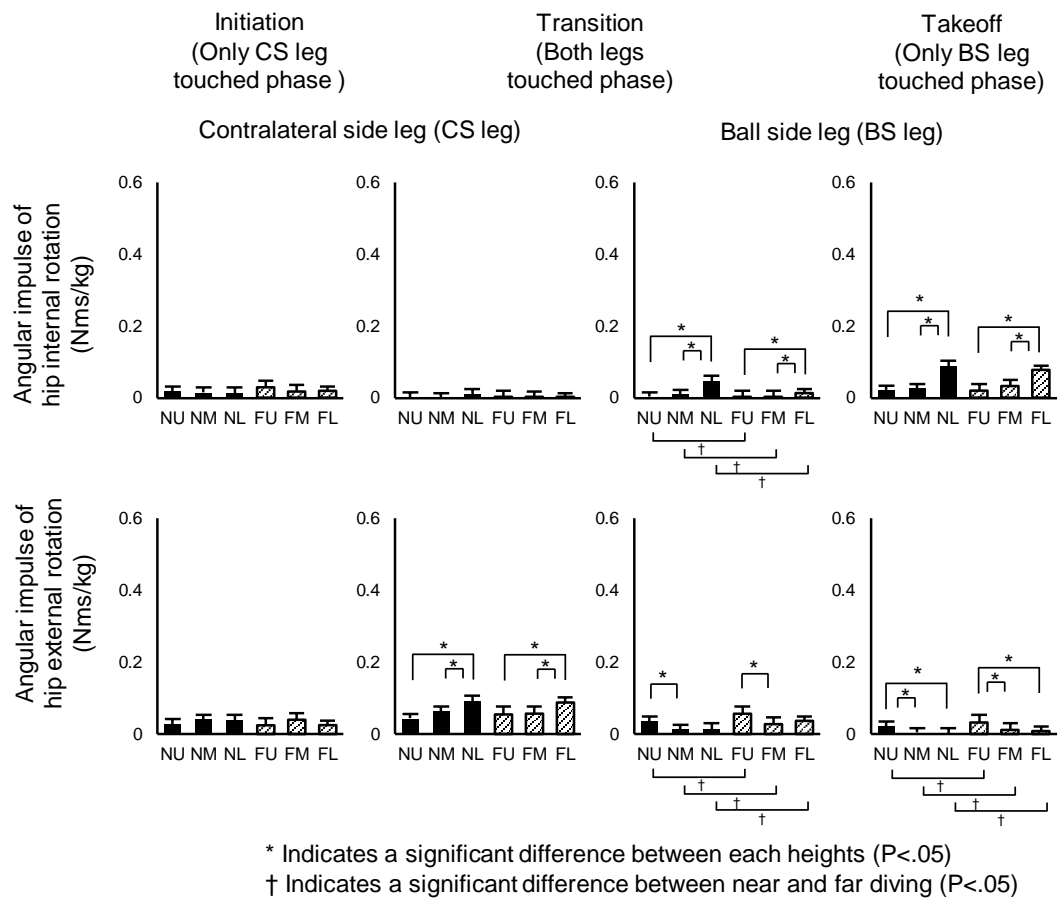


Fig. 3-9 Means of each angular impulse per mass (Nms/kg). Upper figures show hip inner rotation. Lower figures show hip external rotation. NU (Near Upper), NM (Near Middle), NL (Near Lower). FU (Far Upper), FM (Far Middle), FL (Far Lower).

IV. 考察

4.1 踏切開始からボールタッチまでの動作時間

第2章では、方向指示器によってランダム方向に示されたボールに対し、GKにダイビングで向かわせる実験を行い、方向指示器のシグナル開始から、GKがボールタッチするまでの時間を測定した。その結果、ボールまでの到達時間は、Near Divingでは、左右ともMiddle試技が最も短く、以下、Upper, Lowerの順となり、Far Divingでは、Middle試技が最も短く、以下、Lower, Upperの順に、それぞれ有意に長くなっていたことを示した（松倉・浅井, 2009）。また浅井ら（1982）は、2.1m離れたボールへのダイビングにおいて、高さが中の試技が最も短く、以下上, 下の順に、到達時間が長くなっていたと報告している。

それぞれの結果と本章の結果とを比較すると、Near diving, Far divingともにボールへの到達は、Upper試技がMiddle試技よりも遅くなるという点が同じであった。しかし、Near divingにおいては、Upper試技がLower試技よりも到達が有意に遅くなるという点と、Near diving, Far divingともに、Lower試技とMiddle試技の到達時間に差がみられなかったという点が異なっていた。本章における到達時間の定義は、動き出しからStart of analysisまでの時間が動作時間に含まれていない。第2章では、方向指示から動き出し後の手の移動軌跡において、ゴール下部のボールに対する遅れが指摘されていた。しかし、本章における実験では、予め高さや方向が分かった状況で動き出していた点や、Far divingにおいては、CS脚の接地以降から到達時間として測定していた点より、手の移動の遅れの影響が、比較的小さくなっていたのではないかと考えられる。いずれにせよ、Near

diving, Far diving とともに、踏切開始からボール到達までの時間は、Upper 試技の方が他の試技よりも長かった。したがって、GK から遠く、かつクロスバー付近の高さに放たれたシュートは、GK にとって踏切からボール到達までの時間がかかるシュートであると考えられる。

4.2 ダイビングにおけるそれぞれの脚の地面反力の発揮特性

これまで、ダイビングにおいて、離地時の重心速度を大きくすること、そして重心をボールへ直線的に移動させることの重要性が指摘されている (Suzuki *et al.*, 1988 ; 浅井・布目, 2002 ; Spratford *et al.*, 2009)。また、第 2 章の結果より、GK は、ゴール上下部へのダイビングでは、重心をそれぞれの方向へ移動させる必要があることを指摘した。本章の結果も、Middle 試技の重心位置と Upper, Lower 試技の重心位置とを比較すると、試技の 50% 付近から離地にかけてボールの高さに応じて変動している様子を示していた (Fig. 3-3)。そこで、それぞれの脚で発揮された地面反力の特性について検討していく。

まず、CS 脚では Upper 試技ほど、横・鉛直ベクトルの大きさが有意に大きく、角度も有意に大きかった (Table3-2)。しかし角度に有意な差はみられたものの、各試技間の角度の差が BS 脚における差ほど大きくなかった (Table3-2)。さらに、Typical な被験者 A の例をみると、CS 脚の横・鉛直ベクトルは、高いボールへ向かう試技ほど大きいですが、ベクトルの角度は、ほぼ同様の斜め右方向に向いていた (Fig. 3-5)。また横方向、鉛直方向とも地面反力の力積は、Initiation では Upper 試技が Lower 試技よりも有意に大きかった (Table3-3)。これらより CS 脚は、Upper 試技ほど両方向ともに大きな地面反力を発揮し、

いずれの試技もほぼ同様の方向へ地面反力を発揮していたことが明らかになった。

一方、BS 脚の横・鉛直ベクトルは、ボールの高さによってベクトルの大きさだけでなく、その角度も CS 脚よりも試技間でばらつきがみられた (Fig. 3-5)。BS touched down 後に示す横方向の地面反力の波形が試技間で異なっており (Fig. 3-4)、Upper 試技は横方向の地面反力が BS touched down 以降に負の値を示していた (Fig. 3-4)。また、同じく BS touched down 以降に鉛直方向の地面反力の上昇がみられた (Fig. 3-4)。したがって BS 脚は、Upper 試技では Transition において、進行方向に対して逆側の地面反力を発揮し、横方向のスピードに対してブレーキの働きをすることで、鉛直方向の地面反力を上昇させていたと思われる。また、横方向における地面反力の力積は、Transition において Lower 試技が他の高さよりも有意に大きかった (Table3-3)。Upper 試技では地面反力の力積が、Near diving ではゼロに近く、Far diving では負の値を示していた (Table3-3)。一方、鉛直方向における地面反力の力積は、Takeoff において、Upper 試技が他の高さよりも有意に大きかった (Table3-3)。これより BS 脚は、他の試技と比べて、Lower 試技では横方向、Upper 試技では鉛直方向に対してより大きな地面反力を発揮していたことより、ボールの高さに応じて地面反力の方向を制御していたと考えられる。

以上のことから、CS 脚は、「ボールの高さに応じて地面反力の大きさを制御している」、また BS 脚は、「ボールの高さに応じて地面反力の大きさと方向を制御している」ということが明らかになった。

また、Lower 試技の地面反力ベクトルに着目すると、ボールは地面に近い位置にあったにもかかわらず、BS 脚の地面反力ベクトルは、ボール方向へ直接向く様子はみられなか

った。さらに、他の高さの試技では、接地後次第に地面反力ベクトルが大きくなっていたが、**Lower** 試技では、その様子はみられなかった (Fig. 3-5)。浅井・布目 (2002) は、テイクオフの局面におけるボールまでの地面反力の発揮に関して、「GK 上方のボールに対してのジャンプは、重心の移動方向と接地した足の力の方向（地面反力）をほぼ一致させることができるが、横方向の場合はある角度以下に脚が地面に近づいた傾きになると、シューズが地面をグリップできなくなり、重心の移動方向と接地した足の力の方向を必ずしも一致できない。」と述べている。すなわち地面反力によって **Lower** 試技のボール位置へ直線的に重心を向かわせるということはできなかったと考えられる。したがって鉛直方向への地面反力の発揮を抑えて極力重心が上昇しないようにし、その一方で、横方向の地面反力成分が大きくなるようにすることで、ボール方向へと体を倒していくことで重心を下げていたと考えられる。このように **Lower** 試技においては、力の大きさだけでなく、発揮する方向をできる限りボール方向へ傾けることが重要になると考えられる。

そこで、本章では引き続きそれぞれの脚における力の大きさの制御について、股関節、膝関節、足関節における屈曲伸展軸の関節トルク、関節角速度、関節トルクパワーより検証した。なお、力の方向の制御については、第 4 章で扱うこととする。

4.3 高さの違いに伴うキネティクスの特性

いずれの試技においても関節トルクは両脚とも接地区間では伸展トルクが主導的に働いていた (Fig. 3-6)。その中で本研究における動作分析対象区間においては、屈曲の関節角速度と負の関節トルクパワーを示す期間がみられた。そのタイミングや部位をみてみると、

まず Initiation 前半に Near Diving における CS 脚の股関節、膝関節が負の関節トルクパワーを発揮していた (Fig. 3-6). これら関節の負の関節トルクパワーは、Near Diving における沈み込み時の反動動作中の伸筋群のエキセントリックな活動によるパワー発揮と考えられる (阿江・藤井, 2002). Initiation における伸展トルクの角力積については、CS 脚のいずれの関節も、Upper 試技が Lower 試技よりも有意に大きかった (Fig.3-7). したがって Upper 試技では大きな伸展トルクを発揮することにより、伸筋群がエキセントリックな活動からコンセントリックな活動に変わる段階において、大きなパワーを有しており、大きな鉛直方向の地面反力の獲得ができたと推察される. したがって CS 脚においては、沈み込み後のコンセントリックの活動局面において短時間で大きなパワーを生むための反動動作を起こすことが大きな鉛直方向の地面反力の獲得にとって重要であると考えられる.

また、Near Diving における BS 脚、ならびに Far Diving におけるそれぞれの脚が、接地後に負の関節トルクパワーを発揮していた (Fig. 3-6). これは先述の Near Diving における局面と比べて短時間である、0.1 秒にみえないパワー発揮期間であった. したがってこの局面はそれぞれの関節が、接地に伴い生じた衝撃 (Fig. 3-4) を吸収し、伸筋群のエキセントリックな活動からコンセントリックな活動への素早い切り替えしを伴うプライオメトリクス的力発揮における、エキセントリックな活動の部分であると思われる. とりわけ FU 試技ではこの局面の負の関節トルクパワーが大きい様子がみられ (Fig. 3-6), この局面の負の関節トルクパワーが横方向のスピードに対してブレーキの働きをすることで、鉛直方向の地面反力を上昇させていたと考えられる.

一方、負の関節トルクを示した後の局面、すなわち CS 脚では Transition にかけての局

面、ならびに BS 脚では Takeoff にかけての局面においては、正の関節トルクパワーを示していた。よって、この局面の伸展トルクの大きさは、ボール方向への移動に関係していると考えられる。Takeoff における伸展トルクの角力積については、Upper 試技では BS 脚の股関節が Lower 試技よりも、BS 脚の足関節の角力積は、Middle 試技と Lower 試技よりも有意に大きかった (Fig. 3-7)。よって Takeoff において BS 脚の股関節と足関節が大きな伸展トルクを発揮することが大きな鉛直方向の地面反力獲得に重要であると考えられる。

以上のことからシュートの高さの違いに伴う、それぞれの脚による地面反力の発揮の大きさの制御についてまとめると、Upper 試技ほど、GK は大きな鉛直方向の地面反力を獲得する必要がある。そのためには、Initiation において、CS 脚が大きな伸展トルクを発揮することにより大きなエキセントリックな活動を伴う反動動作を起こすこと、ならびに Transition において関節の屈曲による負の関節トルクパワーの発揮によって、進行方向に対し逆側の地面反力を発揮しブレーキの働きをすること、Takeoff において BS 脚の股関節と足関節が、他の試技よりも大きな伸展トルクを発揮することが重要であると考えられる。

4.4 距離の違いに伴うキネティクスの特性

次に前項で述べた特性について、距離の違いに応じて変化している点より、Near diving, Far diving において重要となり得る力発揮の特性を検討した。GK は、大きく離れた位置へのシュートに対して、事前にステップを行わなくては、たとえダイビングを行ったとし

でもボールまで到達することが困難であり、ステップの過程を経て、エネルギーを蓄えた状態から踏切を行う。一方、GKから近い距離のシュートに対するダイビングでは、ステップが行われることなくダイビングを行うために、動き出しから踏切の動作を一連で行うという違いがある。これは第2章でも加速局面の違いについて述べた通りである (Fig.2-2)。

Initiation, Transition を通して、CS脚においては、地面反力の力積が、横方向、鉛直方向とも Near diving が Far diving より有意に大きかった (Table3-3)。BS脚における地面反力の力積は、Transition では横方向、鉛直方向とも Near diving が Far diving より有意に大きかったが、Takeoff では横方向の値は Lower 試技において、そして鉛直方向の値はすべての高さにおいて Far diving の方が有意に大きかった (Table3-3)。これらのことから、Far Diving では、ステップにより身体にエネルギーを蓄えた状況であるのに対し、Near diving においては、ステップによる加速がないため、Initiation においてCS脚による加速が必要となり、CS脚で Far diving よりも横方向、鉛直方向とも大きな地面反力の力積が発揮されたと考えられる。CS脚は、Near diving では Initiation において股関節、膝関節の伸展トルクを、Transition においては膝関節、足関節の伸展トルクを Far diving よりも有意に大きく発揮していた (Fig.3-7)。Near diving の Initiation においては、屈曲による上体の沈み込み時に伸筋群のエキセントリックな活動を促す反動動作が行われていることが前項にて述べられていたように、Near diving におけるCS脚による加速においては、股関節、膝関節の沈み込み時の大きなエキセントリックな活動を伴う反動動作と、その後の膝関節、足関節の大きな伸展トルクの発揮が重要であると考えられる。

また、Far diving においては、遠くまでダイビングによって到達する必要があり、BS

脚は Near diving よりも大きな地面反力の力積と角力積が発揮していた。さらに，Far diving の方が Near diving よりも BS 脚接地時の衝撃力が大きく，短時間で大きく地面反力が上昇している様子を示していた。前項にて述べたように，接地後に負の関節トルクパワーを発揮することで，これら衝撃を吸収した後に，短時間で伸筋群がエキセントリックの活動からコンセントリックの活動へと切り替えて，大きなパワーを発揮していたことが推察される。したがって遠距離へのダイビングにおいては，BS 脚の接地後に，より短時間でのエキセントリックの活動からコンセントリックの活動への切り替えを行うためのプライオメトリクスの力発揮の向上と，Takeoff における BS 脚の股関節，膝関節，足関節の大きな伸展トルク発揮が重要であると考えられる。

4.5 股関節の内外転トルク発揮特性

ダイビングは垂直跳びや，立ち幅跳びと異なり，体を倒しながら横方向へ跳ぶという動作であることから，ボールへ到達するためには下肢の伸展トルクに加えて，下肢を横方向へ倒していくという動作が必要になる。本研究でもボールの高さに応じて力を発揮する方向を変化させている様子が横・鉛直ベクトルの角度から示された (Table3-2, Fig. 3-5)。

特に Lower 試技では，必ずしも横・鉛直ベクトルがボール方向に向かっているわけではないが (Table3-2, Fig. 3-5)，重心は離地へ向けて，下へと向かっている様子が示された (Fig. 3-3)。トンプソン・フロイド (1997) は，下肢を傾ける動作，すなわち骨盤の側方回旋 (側方傾斜) の際には，倒していく側の股関節の内転と，反対側の股関節の外転の動きを伴うことを指摘している。したがって，下にあるボール方向へ下肢を倒すためには，

CS 脚の股関節外転と BS 脚の股関節内転の動きが必要であると考えられる。実際にスティックピクチャーでも、Lower 試技では他の試技よりも大きく BS 脚が傾いている様子がみられた (Fig. 3-5)。すなわち、CS 脚の股関節外転動作と BS 脚の股関節内転は、それぞれの脚のボール方向への傾きを導き、地面反力ベクトルをボール方向へと傾ける働きをしていると考えられる。

CS 脚は、いずれの試技とも Initiation において関節角速度、トルクが外転を示し、正の関節トルクパワーを発揮していた (Fig. 3-6-4)。CS 脚股関節外転トルクの角力積は、各高さで有意な差はみられなかったが、Initiation, Transition とともに Near diving が Far diving よりも有意に大きかった。また、Initiation において、重心が下降している間にも、重心の横方向への移動がみられた (Fig. 3-3)。したがって CS 脚股関節の外転動作によって下肢をボール方向へ傾けることで、ボール方向へと地面反力の発揮方向を傾けると同時に、重力の影響を受けて重心を斜め下方向へ移動させていたと考えられる。

また BS 脚は、Transition において、いずれの試技とも内転トルクと正の関節トルクパワーを示し、Lower 試技ほど大きな値を示す傾向がみられた (Fig. 3-6-4)。BS 脚股関節内転トルクの角力積は、Transition で Lower 試技が Middle, Upper 試技よりも有意に大きかった (Fig. 3-8)。また、Transition で、Near diving が Far diving よりも有意に大きかった (Fig. 3-8)。したがって Lower 試技ほど、股関節を内転させることでボール方向へ BS 脚を倒しこみ、力の発揮する方向をできる限りボール方向へと傾けようとしていたと考えられる。

股関節の内外旋トルクの角力積は、他のトルクと比べると値は小さく (Fig. 3-9)、関節

トルクパワーも接地期間内ではゼロに近い値で推移していたことから (Fig.3-6-5), ダイビング中のボール方向への重心移動にはほぼ働いていないということが推察される. また本実験の試技は, あらかじめ設置してある静止球へダイビングで向かわせたことから, 被験者が実際のゲーム中のように飛行してくるボールに処理する際よりも, 上体が踏切動作中にボール方向へ向く傾向がみられた. さらに, 被験者がインドアシューズを用いてフォースプレート上からの離地を行う必要があったためために, 少ないながらもスリップしてしまう影響があったと思われる. したがって今回の実験設定が内外旋トルクの発揮に影響を与えていたことが推察される.

これらのことから, 近いシュートに対する, より速いダイビングには, **Initiation** における **CS** 脚股関節の外転動作が重要であると考えられる. 加えて, 低いシュートでは, **Transition** における **BS** 脚股関節の内転動作が, より重要であると考えられる.

V. まとめ

本研究では、GK のダイビングを対象に、ボールの高さ・距離の違いに伴う、地面反力と下肢の関節トルク、関節角速度、関節トルクパワーを比較検討し、ダイビング技術の基礎的メカニズムを明らかにしようとした。結果を以下に要約する。

1. Near diving, Far diving とともに、Upper 試技は他の試技より踏切開始からボール到達までの時間が長かった。したがって、GK から遠く、かつクロスバー付近の高さに放たれたシュートは、GK にとって踏切からボール到達までの時間のかかるシュートであると考えられる。

2. CS 脚はボールの高さに応じて発揮する地面反力の大きさを変えることにより、また、BS 脚はボールの高さによって、発揮する地面反力の大きさと方向を変えることにより、重心をボール方向へ直線的に向かわせようとしていたことが明らかになった。

3. Upper 試技において、CS 脚は大きな伸展トルクを発揮することにより、大きなエキセンリックな活動を伴う反動動作を起こしていたと考えられる。また BS 脚は、Transition において関節の屈曲による負の関節トルクパワーの発揮によって、進行方向に対し逆側の地面反力を発揮し、ブレーキの働きをすることで、鉛直方向の地面反力を上昇させることと、Takeoff において股関節と足関節の大きな伸展トルクによる鉛直方向の大きな地面反力を獲得していたと考えられる。これらがダイビングにおける鉛直方向への地面反力の獲得にとって重要であると考えられる。

4. Near diving における CS 脚による加速では股関節、膝関節において屈曲による上体の沈み込み時に、できる限り短時間で大きなパワーを得るために大きな伸展トルクの発揮を

伴う反動動作を強く行うことと、その後の膝関節、足関節の大きな伸展トルクの発揮が重要であると考えられる。

5. **Far Diving** では、より短時間でのエキセントリックからコンセントリックな活動への切り替えを伴う、プライオメトリクス的な力発揮の向上と、**Takeoff** での **BS** 脚の股関節、膝関節、足関節の大きな伸展トルクの発揮が重要であると考えられる。

6. **Near Diving** における、より速いダイビングには、**Initiation** における **CS** 脚股関節の外転動作が重要であると考えられる。加えて、低いシュートでは、**Transition** での **BS** 脚股関節の内転動作が、より重要であると考えられる。

第4章

「サッカーの GK における
ダイビングの
シュートコースの違いに応じた
地面反力の発揮方向の変化を
生むメカニズム」

I. 緒言

ここまで第2章では、高さ・距離の異なるボールへの GK のダイビングによる到達時間を比較した。その結果、Near Diving では、Middle, Upper, Lower 試技の順に、Far Diving では Middle, Lower, Upper 試技の順に到達が遅くなっており、ボールまでの到達時間の順序が、高さと距離の違いによって異なっていた。また同一時間におけるダイビングによる到達可能範囲の検討より、ゴール上下部は GK から同一距離離れた場所への放たれたシュートであっても、ゴール中ほどの高さよりも防ぐことが難しいことが示唆された。ゴール上下部へのダイビングは、ゴールの中ほどの高さへのダイビングと比較して、重心を上下に移動させる必要がある。

したがって第3章では、ボールの高さ・距離の違いに伴う、地面反力と下肢の関節トルク、関節角速度を比較検討した。その結果、ボールの位置に応じて CS 脚は大きさを制御して力を発揮し、BS 脚はボールに対し直線的にダイビングができるように大きさと方向を制御して力を発揮していたことを報告した。そこで、それぞれの脚がどのように力を発揮しているかを検討した結果、Upper 試技では CS 脚が、伸筋群のエキセントリックな活動による上体の沈み込み時に大きなエキセントリックな活動を伴う反動動作を行っていたことを報告した。BS 脚は、Transition において進行方向に対し、逆側の地面反力を発揮し、ブレーキの働きをすることで、鉛直方向の地面反力を上昇させることと、Takeoff において股関節と足関節の大きな伸展トルクを発揮し、鉛直方向の地面反力を増大させることが重要であると報告した。また、Lower 試技では BS 脚は、大きな股関節内転トルクを発揮し、よりボール方向へ傾いていたことが明らかになった。さらに Far Diving では Near

Diving より, BS 脚接地時のプライオメトリクス的な力発揮の向上と Takeoff において BS 脚股関節, 足関節が, 大きな伸展トルクを発揮することの重要性が指摘された. このように第 3 章ではそれぞれの脚で発揮される力の大きさについて明らかにすることができた.

よって本章を, 第 3 章の関連論文 (松倉・浅井, 2013) と同一データを用いた継続的研究と位置づけて, それぞれの脚の接地時間や重心移動速度の推移, 下肢関節角度の変化を比較検討し, シュートコースの違いに応じたダイビングの地面反力の発揮方向の変化が生じるタイミングや動作のメカニズムを明らかにしようとした.

II. 方法

2.1 実験

本章のデータは、第 3 章の関連論文（松倉・浅井, 2013）と同一データを用いたために、実験の設定・用語に関しては、ここでは省略する。ただし本章において新たに算出した項目に関しては、次項にて記載する。

2.2 測定項目および算出法

2.2.1 フォースプレート上での接地時間

CS 脚, BS 脚, 両脚接地 (Both), Total の 4 つの接地時間を求めた。CS 脚の接地時間は, Initiation と Transition の合計とし, BS 脚の接地時間は, Transition と Takeoff の合計とした。Both は, Transition の値とし, Total の接地時間は, Initiation, Transition, Takeoff の合計とした。

2.2.2 身体重心移動速度

身体重心移動速度（以下 CGV と略す）は、阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて身体重心位置を算出し、その変位より求めた。

2.3 統計処理

前項の測定項目について、距離と高さを要因とした二元配置分散分析の統計処理を行った。下位検定には Bonferroni の方法を用いた。いずれも統計分析に使用したソフトウェア

は SPSS Statistics 19 であった。統計的検定における有意水準は 5%とした。

III 結果

3.1 フォースプレート上での接地時間

Fig. 4-1 は, CS 脚, BS 脚, Both, Total のフォースプレート上の接地時間を示したものである. CS 脚の接地時間は, Near Diving の方が Far Diving よりも有意に長く, Lower 試技が Upper 試技, Middle 試技よりも有意に長かった. BS 脚の接地時間は有意な差がみられなかった. Both の接地時間は, Near Diving の方が Far Diving よりも有意に長く, Lower 試技が Upper 試技, Middle 試技よりも有意に長かった. Total の接地時間は, Near Diving の方が Far Diving よりも有意に長かった.

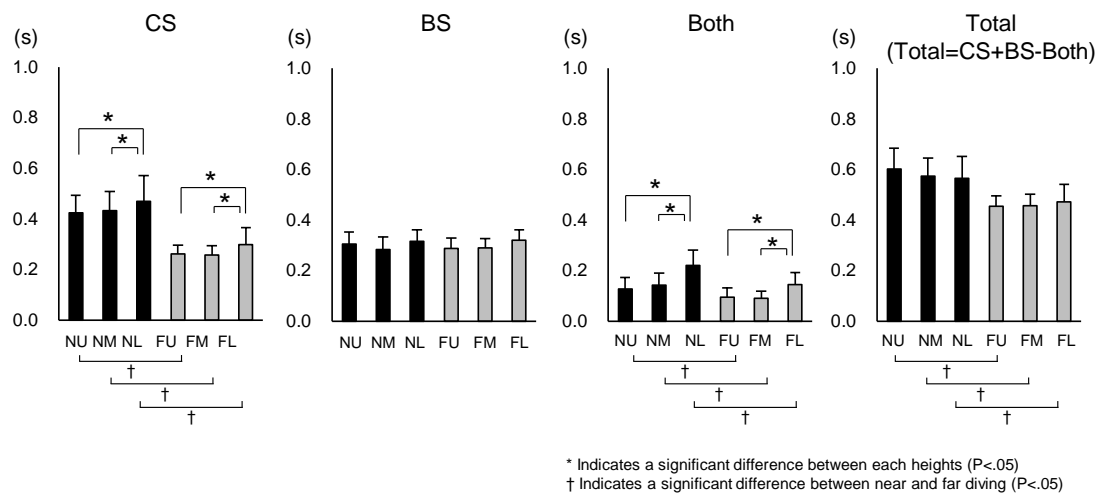


Fig.4-1 Means of grounded time. NU(Near Upper), NM(Near Middle), NL(Near Lower). FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

3.2 身体重心速度 (CGV)

Fig. 4-2-1, 4-2-2 は, 全被験者の CGV を Start of analysis から Finish of analysis までの時間を 100% として正規化し, 平均の推移を示したものである. 横方向の速度 (Fig. 4-2-1) は, Start of analysis から Finish of analysis にかけて上昇している様子がみられた. Near Diving, Far Diving とも各高さによって, BS touched down 付近までの推移に差がほぼみられなかった. その後 Upper 試技においては, 速度の上昇が CS left にかけて緩やかになっていた. 鉛直方向においては (Fig. 4-2-2), いずれの試技も, BS touched down までは下方向の速度であった. その後, Upper 試技, Middle 試技では BS touched down 付近から上方向の速度を示していた. また, 分析対象区間内における CGV は, 横方向は Near Diving において, 鉛直方向は Far Diving において大きく上昇している様子がみられた.

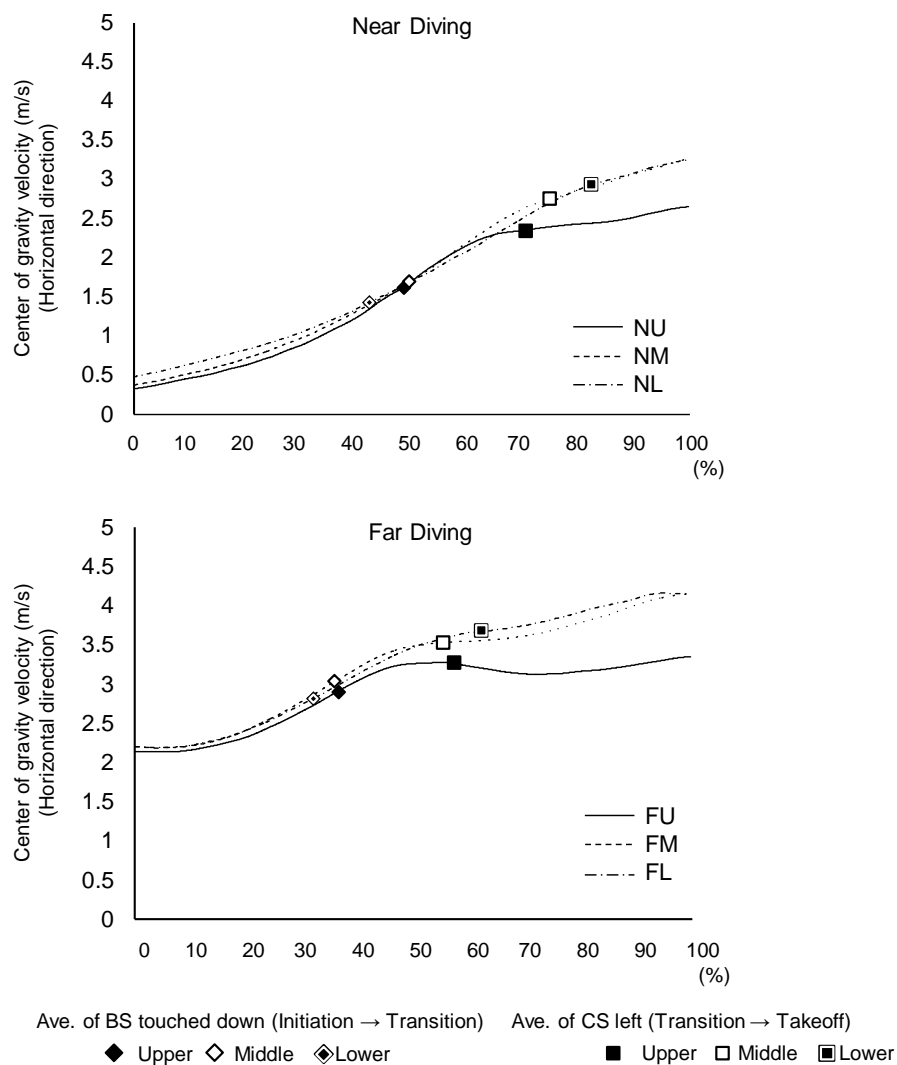
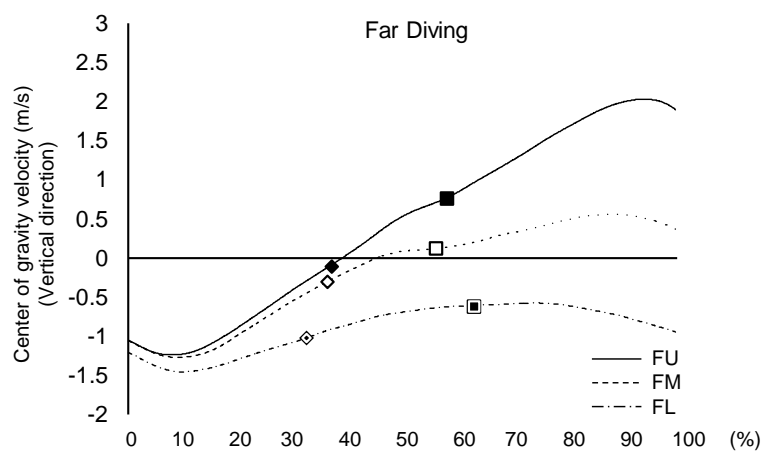
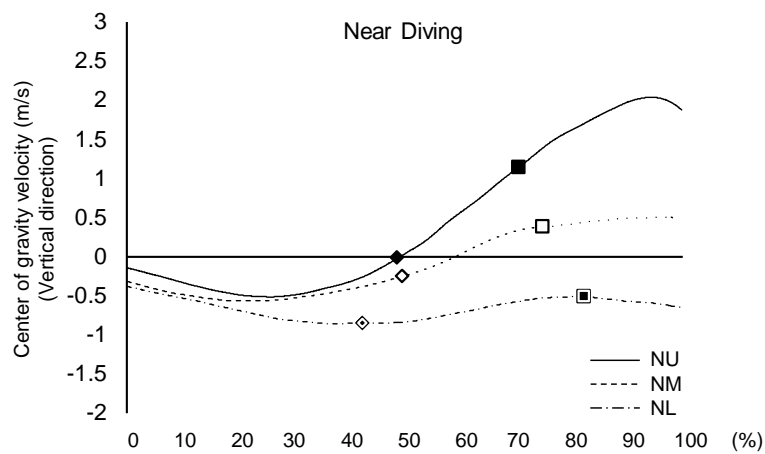


Fig. 4-2-1 Means of trajectory in center of gravity velocity during diving (horizontal direction). NU(Near Upper), NM(Near Middle), NL(Near Lower). FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).



Ave. of BS touched down (Initiation → Transition) Ave. of CS left (Transition → Takeoff)

◆ Upper ◇ Middle ◆ Lower ■ Upper □ Middle ■ Lower

Fig. 4-2-2 Means of trajectory in center of gravity velocity during diving (vertical direction). NU(Near Upper), NM(Near Middle), NL(Near Lower). FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

また、Table 4-1 は、Start of analysis から Finish of analysis の 4 つのタイミングにおける CGV の値を示したものである。その結果、それぞれの CGV の値は試技間で有意に異なっていた。横方向の CGV は、Start of analysis において、Far Diving の方が Near Diving よりも大きく、Lower 試技が Upper 試技よりも大きかった。BS touched down においては、Far Diving の方が Near Diving よりも大きかった。CS left においては、Far Diving の方が Near Diving よりも大きく、Lower 試技、Middle 試技が Upper 試技よりも大きかった。Finish of analysis においては、Far Diving の方が Near Diving よりも大きく、Lower 試技、Middle 試技が Upper 試技よりも大きかった。すなわちステップがある Far Diving が Near Diving よりも常に大きな横方向の速度であった。さらに BS 脚が接地した段階では高さに伴う有意な差はみられなかったが、CS left 以降は、Lower 試技が他の高さよりも有意に大きな横方向の CGV であった。

鉛直方向の CGV は、Start of analysis において、Far Diving の方が Near Diving よりも下方方向の速度が大きかった。BS touched down においては、Lower 試技、Middle 試技、Upper 試技の順で下方方向の速度が大きかった。CS left においては、Near Diving が Far Diving よりも上方方向の速度が大きく、Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で上方方向の速度が大きかった。Finish of analysis における Lower 試技においては、Far Diving の方が Near Diving よりも下方方向の速度が大きく、Upper 試技、Middle 試技、Lower 試技の順で上方方向の速度が大きかった。すなわち BS 脚が接地するまでは、いずれの高さも下方方向の速度を示し、その後、試技間で鉛直方向の速度に差がみられ、他の試技と比べ、Upper 試技は大きな重心の上昇速度、Lower 試技は大きな重心の下降速度であった。

Table4-1 Means of center of gravity velocity at each timing.

Horizontal velocity(m/s)	Start of analysis	BS touched down	CS left	Finish of analysis
NU	0.33 (0.11)	1.58 (0.44)	2.35 (0.27)	2.67 (0.20)
NM	0.38 (0.13) *	1.67 (0.37)	2.76 (0.27) *	3.14 (0.45) *
NL	0.47 (0.20)	1.44 (0.37)	2.91 (0.33)	3.25 (0.29)
FU	2.14 (0.15)	2.91 (0.31)	3.29 (0.14)	3.35 (0.22)
FM	2.21 (0.18) *	2.97 (0.39)	3.56 (0.25) *	4.15 (0.21) *
FL	2.21 (0.22)	2.80 (0.27)	3.68 (0.31)	4.15 (0.33)
Vertical velocity(m/s)	Start of analysis	BS touched down	CS left	Finish of analysis
NU	- 0.33 (0.11)	- 0.06 (0.33)	1.05 (0.67)	1.75 (0.26)
NM	- 0.30 (0.19)	- 0.31 (0.20) *	0.41 (0.31) *	0.47 (0.30) *
NL	- 0.38 (0.30)	- 0.90 (0.18) *	- 0.48 (0.23)	- 0.65 (0.25)
FU	- 1.10 (0.24)	- 0.14 (0.37)	0.78 (0.30)	1.88 (0.26)
FM	- 1.10 (0.16)	- 0.44 (0.35) *	0.14 (0.20) *	0.36 (0.31) *
FL	- 1.21 (0.17)	- 1.05 (0.22) *	- 0.56 (0.21)	- 0.96 (0.25)

* Indicates a significant difference between each heights (P<.05)

† Indicates a significant difference between near and far diving (P<.05)
n=11 (S.D)

3.3 下肢関節角度の推移

Fig. 4-3-1, 4-3-2 は，全被験者の股関節，膝関節の屈伸，足関節の底背屈の軸における関節角度の変位を Start of analysis から Finish of analysis までの時間を 100% として正規化し，平均を示したものである．股関節は完全に伸展した位置を 0° ，完全に屈曲した位置を 180° とし，膝関節は完全に伸展した位置を 180° ，完全に屈曲した位置を 0° とした．また，足関節は底背屈していない状態を 0° とし，負の値が大きくなるにつれて背屈が大きくなり，正の値が大きくなるにつれて，底屈が大きくなるよう定義した．

CS 脚は BS touched down までは，屈曲ならびに背屈を示し，BS touched down 付近で屈曲から伸展へと変わり，CS left へかけての局面において伸展，底屈を示している．股関節，膝関節では，Lower 試技が他の試技よりも大きい屈曲の様子がみられた．足関節では背屈の様子に差はみられなかった．BS 脚は BS touched down までは，屈曲ならびに背屈を示している様子は CS 脚と類似しており，各関節とも Upper 試技の方が大きい伸展の様子がみられた．

また Transition において，伸展，底屈を示し始めるタイミングが，Upper, Middle 試技では，股関節が BS touched down 付近でみられ，膝関節は CS left 付近，足関節は CS left 以後にみられた．Lower 試技では，それぞれの関節において伸展が始まるタイミングが他の高さとは比べ遅く，CS left 付近となっていた．ただし，Far Diving では，膝・足関節において，Near Diving のように Lower 試技において伸展のタイミングが遅れている様子はみられなかった．これらの傾向は多くの被験者にみられた．

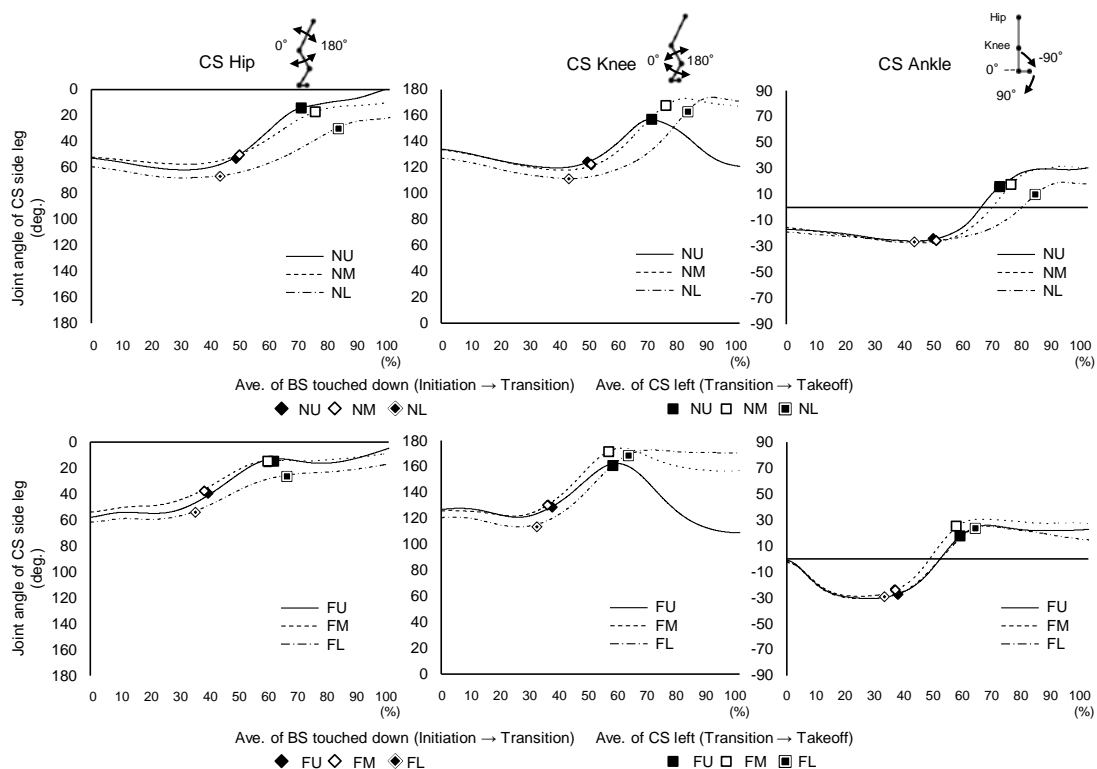


Fig. 4-3-1 Means of change in joint angle of hip, knee, ankle (Contralateral Side leg). Positive values mean extension (plantar flexion), negative values mean flexion (dorsal flexion). NU(Near Upper), NM(Near Middle), NL(Near Lower). FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

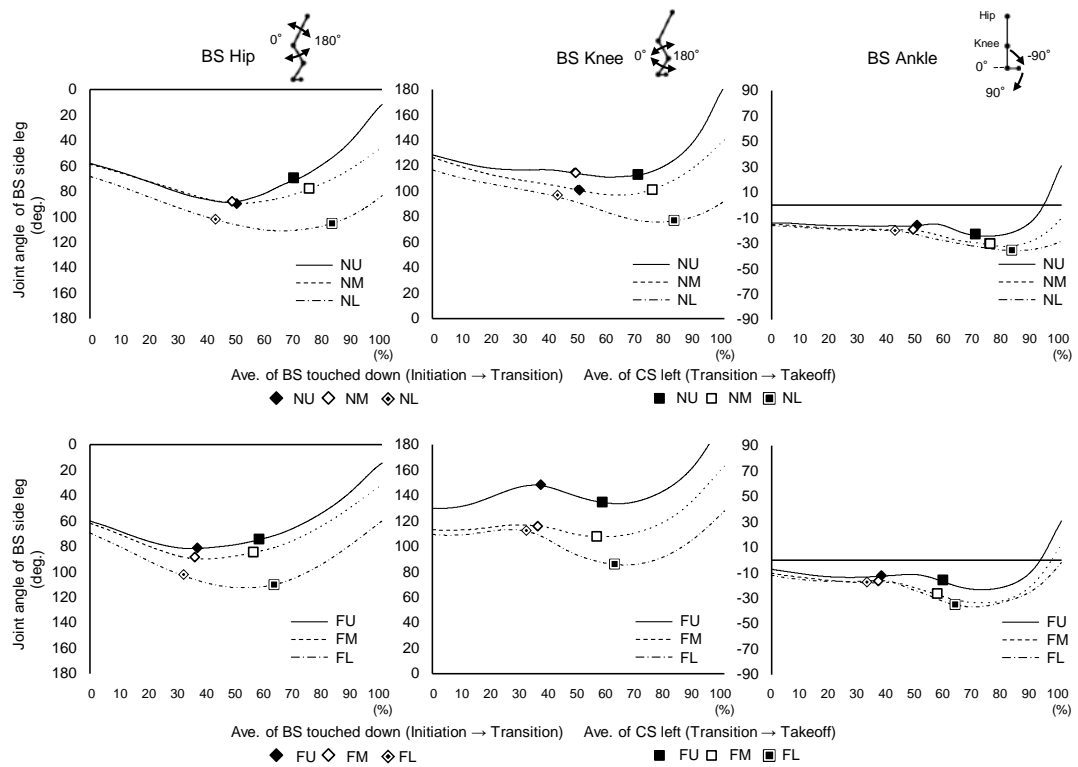


Fig. 4-3-2 Means of change in joint angle of hip, knee, ankle (Ball Side leg). Positive values mean extension (plantar flexion), negative values mean flexion (dorsal flexion). NU(Near Upper), NM(Near Middle), NL(Near Lower). FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

また、Fig. 4-4 は、股関節の内外転の角度を示したものである。CS 脚股関節内外転の角度は、Initiation において、いずれも外転位を示し、その後 Upper, Middle 試技では外転状態が、BS touched down 付近からおさまっていた。しかし Lower 試技では CS 脚の外転が、BS touched down 以降も続いており、Transition 中におさまっていた。さらに Lower 試技では BS 脚内外転の角度が、接地までは外転位を示しているが、BS 脚接地後から外転状態がおさまっていた。特に Lower 試技ではその動きが大きくみられ、BS 脚離地のタイミングでは 0° に近い値を示していた。

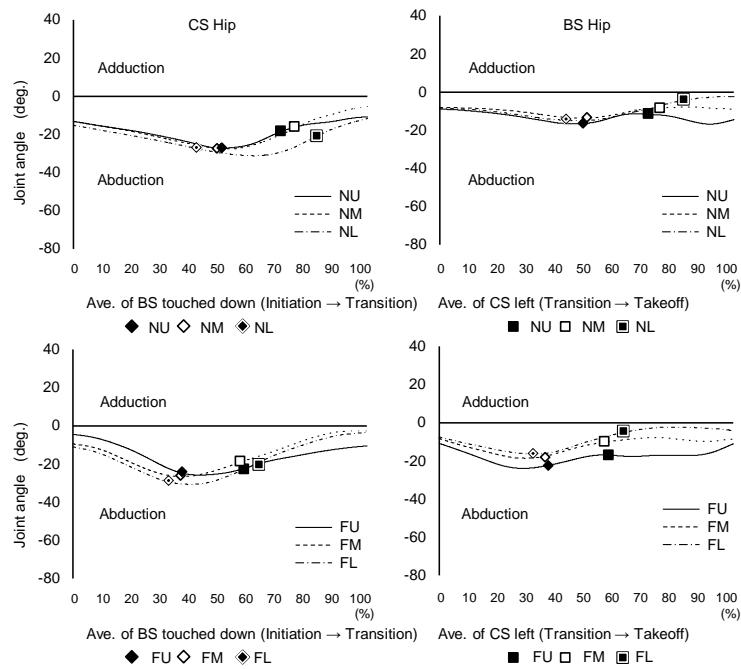


Fig. 4-4 Means of change in joint angle of hip adduction and abduction during diving. Positive values mean hip adduction, negative values mean hip abduction. NU(Near Upper), NM(Near Middle), NL(Near Lower). FU(Far Upper), FM(Far Middle), FL(Far Lower).

IV. 考察

4.1 踏切に要する時間の違い

まず、ボールの高さによる違いをみると、Total の接地時間は有意な差はみられなかった (Fig. 4-1). すなわち、ボールの高さによって踏切に要する時間に差はないということがいえ、踏切時間内で発揮される力の大きさは、単位時間に発揮される力の大きさによって決まると考えられる。それぞれの脚についてみると、CS 脚の接地時間と Both の接地時間は、Lower 試技が Upper, Middle 試技よりも有意に長かった (Fig. 4-1). 一方、BS 脚の接地時間と Total の接地時間に有意な差はみられないことから (Fig. 4-1), Lower 試技は、CS 脚の接地を長くしており、その中でも両脚で接地している時間を、他の高さよりも長くしているという特性がみられた。

次に、Near Diving と Far Diving による違いをみると、CS 脚の接地時間は、Near Diving が Far Diving よりも有意に長かった (Fig. 4-1). また、BS 脚の接地時間は、有意な差がみられなかった (Fig. 4-1). すなわち、Total の接地時間は Near Diving が Far Diving より有意に長く、BS 脚の接地時間に有意な差がみられなかったことより、Far Diving ではステップが入ることで、離地までの CS 脚の接地時間を短縮し、Near Diving はステップが入らないため、CS 脚が横方向へ加速させる働きが Far Diving より必要とされ (松倉・浅井, 2013), 接地している時間が長かったと考えられる。また BS 脚が力を加える時間は、高さ・距離の違いに関わらず変わらないということが明らかになった。

4.2 高さ・距離の違いに伴う CGV の推移の変化

Fig. 4-2 をみると, Initiation では, 横方向の CGV の推移における, ボールの高さによる違いは, ほぼみられない. 一方, 鉛直方向の CGV はいずれの試技とも負の値を示しており, この Initiation においてボールの高さによって, 重心のボール方向への移動には違いがないと考えられる. 実際に横方向の CGV も BS 脚が接地する BS touched down まではボールの高さによって有意な差はみられなかった (Table4-1). 第 3 章で述べたように Initiation では, CS 脚による反動動作が行われている. これらより Initiation における CS 脚は, 沈み込みによる反動をおこし, 重心を上昇させるための準備の働きをしていると考えられる.

その後, CS left の時点での横方向の CGV においては, Lower, Middle 試技が, Upper 試技よりも有意に大きい値を示し (Table4-1), 鉛直方向の CGV においても, Upper 試技, Middle 試技, Lower 試技の順で有意に大きい値を示した. すなわちダイビング時の重心移動において, ボールの高さによる様相の変化が生じる期間は Transition であり, この期間の動作が, 地面反力の発揮方向を制御していると考えられる.

さらに, 分析対象区間内における CGV は, 横方向は Near Diving において, また鉛直方向は Far Diving において, 大きく上昇している様子がみられた (Fig. 4-2, Table4-1). したがって, 接地している間に, Near Diving は Far Diving よりも横方向の, Far Diving は Near Diving よりも鉛直方向の加速が必要であると考えられる.

また, 離地時 (Finish of analysis) の CGV の平均を Suzuki *et al.* (1988) の研究 (上位群 2 名) と比較すると, GK からの距離や地面からの高さが少し異なることより, 全く

同じ条件ではないものの、Suzuki *et al.* (1988) の研究において上位群とされた日本リーグ所属選手 2 名の CGV が、本研究の被験者である大学生 11 名の平均 CGV よりも高かった。これは所属カテゴリーの違い、すなわち GK としての評価の違いが反映されている結果であると推察する。すなわちダイビングの技術と GK の能力の関係の深さを示しているこれまでの研究（永都, 1980 ; Suzuki *et al.* ,1988) を支持する結果であったといえる。また、低いボールへのダイビングほど水平方向の離地時 (Finish of analysis) の重心移動速度の平均が大きかった点も、これまでの研究 (Suzuki *et al.* ,1988) と同様の結果であった。

4.3 重心の移動方向の変化を生む下肢動作の違い

前項でダイビング時の重心移動において、ボールの高さによる様相の変化が生じる期間は Transition であることが示された。この期間における下肢の関節角度は、いずれの試技においても屈曲、背屈から伸展、底屈へと推移している様子がみられた (Fig. 4-3)。

さらに伸展、底屈へと変化するタイミングをみると、CS 脚はいずれの高さも BS touched down 付近において、そのタイミングがみられた (Fig. 4-3)。一方、BS 脚では伸展、底屈へと変化するタイミングは、Upper 試技においては、BS touched down 直後にみられたのに対し、Lower 試技においては、そのタイミングが Upper 試技よりも遅くにみられた (Fig. 4-3)。第 3 章で示したように、Lower 試技においてダイビング時に BS 脚によって発揮される地面反力ベクトルは、ある一定の角度以上はボール方向に向くことがない。よって BS 脚が伸展すること自体が、重心を上昇させる力を発揮してしまうことを意味している。そ

れは **Upper** 試技においては、上方向に重心を上昇させていくプラスの働きになるが、**Lower** 試技においては、重心をボールから離そうとするマイナスの働きを行うこととなる。そこで **Lower** 試技では、両脚とも接地している **Transition** が有意に長いことより (Fig. 4-1), **GK** は **Transition** において **CS** 脚を伸展させながらも、**BS** 脚の伸展のタイミングを遅らせ、屈曲を続けることで、重心の鉛直方向への上昇を避けているのではないかと考えられる。

また、第 3 章において、スティックピクチャーで、**Lower** 試技においては他の試技よりも大きく下肢が傾いている様子が示されていた (Fig. 3-5)。さらに下肢は **CS** 脚股関節の外転トルクと **BS** 脚股関節の内転トルクの働きによって、ボール方向へ下肢を傾けていくことで重力の影響を受け、重心が下方向へ移動していることが考察された。**CS** 脚股関節内外転の角度は、**Initiation** において、いずれも外転位を示し、その後外転状態が、**Upper**, **Middle** 試技においては **BS touched down** 付近からおさまっていた (Fig. 4-4)。しかし **Lower** 試技においては、**CS** 脚の外転が、**BS touched down** 以降も続いており、**Transition** の途中でおさまっていた。また、いずれの試技においても **BS** 脚内外転の角度は、**BS** 脚接地までは外転位を示していたが、接地後から外転状態がおさまっていた。特に **Lower** 試技においてはその動きが大きくみられ、**BS** 脚離地のタイミングでは **BS** 脚内外転の角度は 0° に近い値を示していた (Fig. 4-4)。さらに **Lower** 試技では **BS** 脚股関節の内転トルクの角力積が他の試技よりも有意に大きな値であった (Fig. 3-8)。

これらのことから、**GK** は **Lower** 試技では、**Transition** において、重心ができる限りボールから離れないように **BS** 脚の伸展のタイミングを遅らせていた。その間に **CS** 脚は股

関節の外転と、それぞれの関節の伸展を、BS 脚はそれぞれの関節の屈曲と、股関節の内転を同時に行うことにより、下肢をボール方向へ傾けていたと推察される。これらの動作が、Lower 試技において地面反力の発揮の方向が、よりボール方向へ向くように制御するメカニズムであると考えられる。一方、Upper 試技においては BS 脚を接地後すぐに伸展させていた。第 3 章より、BS 脚は接地後の負の関節トルクパワー、ならびに進行方向逆側の地面反力を発揮していた。これらの局面において、BS 脚が横方向のスピードに対してブレーキの働きをすることで、鉛直方向の地面反力を上昇させていたことが、地面反力の発揮方向を上へ向けるメカニズムであると考えられる。

したがって、この BS 脚の伸展、底屈へと変わるタイミングの違いと、それに伴う BS 脚股関節内転トルク発揮による BS 脚のボール方向への傾き具合が、Transition においてダイビング時の地面反力の発揮方向の変化を生むメカニズムであると考えられる。

V. まとめ

本章では、GK のダイビングを対象に、ボールの高さ・距離の違いに伴う、それぞれの脚の接地時間や重心移動速度の推移、下肢関節角度の変化を比較検討し、シュートコースの違いに応じた地面反力の発揮方向の変化を生むメカニズムを明らかにしようとした。結果を以下に要約する。

1. ダイビングの踏切局面におけるそれぞれの脚の接地時間は、CS 脚では Near Diving の方が、Far Diving より有意に長かった。
2. CS 脚は、Lower のダイビングでは、他の高さより接地時間が長く、両脚で接地している期間が長いという特性がみられた。
3. BS 脚は高さ・距離の違いに関わらず、接地時間に力を加える時間は変わらないことが明らかになった。
4. Transition 前後での横・鉛直方向における重心移動速度の差から、この期間の動作によって、ダイビング時の地面反力の発揮方向の変化が生じたと考えられる。
5. 重心移動速度の上昇の様子より、接地している間に Near Diving は Far Diving よりも横方向の加速が、Far Diving は Near Diving よりも鉛直方向の加速が必要であると考えられる。
6. BS 脚はボールの高さに応じて、屈曲から伸展へと切り替わるタイミングを変え、それに伴う BS 脚股関節内転トルクの発揮によって、BS 脚のボール方向への傾きをコントロールすることによって、力を発揮する方向を制御していたと考えられる。

第 5 章

「総括」

I. 結論

本研究は、高さ・距離の異なるボールへのダイビングを分析対象とし、まず第2章において、シュートコースの違いによって、どのように到達できる範囲が変わるのかという移動の特性を検討した。そしてダイビングのパフォーマンスに関係の深い「離地時の重心速度の向上」と「ボールに対して直線的に重心を向かわせる」という2つの課題に対しての知見を得るために、第3章において、シュートコースの違いによって、それぞれの脚が、どのように地面反力を発揮しているかについて検討した。また第4章において、いつ、どのような動作により、地面反力の発揮方向が変化していくのかを検討した。ここでは、それぞれの第2章から第4章で得られた本研究の結論をまとめて示す。

第2章では、GKがランダム方向に出される方向指示器の電動表示に反応してボールにダイビングで向かう実験より、ボールの位置（高さ・距離）の違いに伴うダイビングの到達時間、移動速度、手の移動軌跡における違いを検討し、GKのダイビングにおける移動可能範囲を明らかにしようとした。

その結果、各試技（Upper, Middle, Lower）のボールまでの到達時間を比較したところ、試技間で有意な差がみられた。GKから近いボールへのダイビング（Near Diving）においては、Middle 試技, Upper 試技, Lower 試技の順に到達が遅くなっており、一方、GKから遠いボールへのダイビング（Far Diving）においては、Middle 試技, Lower 試技, Upper 試技の順に到達が遅くなっていた。したがって高さや距離の異なるシュートのコースによって、ボールへ到達することが容易なコースと難しいコースが異なっているということが明らかになった。

また、ボールタッチした手の中心位置（第三中手指節関節）の同一時間の座標値から、到達可能範囲を作成し、ゴール中ほどの高さが、ゴール上、下部よりも同一時間で到達可能である範囲が広いことが明らかになった。

しかし、第2章はあくまでも高さおよび距離の違いに応じたダイビングの移動特性について示したものであるため、ダイビング自体の分析を目的としたものではない。

そこで第3章では、GKのダイビングを対象に、ボールの高さ・距離の違いに伴う、地面反力と下肢の関節トルク、関節角速度、関節トルクパワーを比較検討し、ダイビングにおける地面反力の発揮のメカニズムを明らかにしようとした。

その結果、CS脚は、「ボールの高さに応じて発揮する地面反力の大きさを制御している」、またBS脚は、「ボールの高さに応じて発揮する地面反力の大きさと方向を制御している」ということが明らかになった。

そこで地面反力の大きさについて検討したところ、Upper 試技では、重心を上昇させるために大きな地面反力が必要であったため、CS脚は大きな伸展トルクを発揮し、大きなエキセントリックな活動を伴う反動動作によって大きな地面反力を得ていたと考えられる。BS脚は、Transition において進行方向に対し逆側の地面反力を発揮し、ブレーキの働きをすることで鉛直方向の地面反力を上昇させていたと考えられる。また、Takeoff において股関節および足関節の大きな伸展トルクを発揮し、鉛直方向の地面反力を増大させていたと考えられる。一方、Lower 試技では鉛直方向への地面反力の発揮を抑え、極力重心が上昇しないようにし、地面反力の発揮方向をボール方向へ傾けることによって、横方向の地面反力成分が大きくなるようにし、ボール方向へと体を倒していくことで重心を下げて

いたと考えられる。

また、Near Diving ではステップが行われないうえに、CS 脚における加速が必要となり、股関節および膝関節の屈曲による上体の沈み込みに伴う反動動作と、その後の膝関節、足関節の大きな伸展により、大きな地面反力の力積を獲得していたと考えられる。一方、Far Diving においては、遠くまで跳ぶために、より短時間でエキセントリックからコンセントリックな活動への切り替えを伴うプライオメトリクスのな力発揮の向上と、Takeoff における BS 脚の股関節、膝関節、足関節の大きな伸展トルク発揮が重要であることが示唆された。さらに Near Diving における、より速いダイビングには、Initiation における CS 脚股関節の外転動作が重要であると考えられる。加えて、低いシュートでは、Transition での BS 脚股関節の内転動作が、より重要であることが示唆された。

次に第 4 章では、第 3 章において BS 脚が地面反力の発揮の方向を制御していることが明らかになったことより、いつ、どのような動作により、BS 脚による地面反力の発揮方向が変化していくのかを、それぞれの脚の接地時間や重心移動速度（CGV）の推移、下肢関節角度の変化より検討した。

その結果、いつ地面反力の発揮方向が変化するかという点について CGV の推移をみると、Transition の開始時と終了時での高さの違いに伴う重心移動速度の差が確認され、Transition 期間の動作によってダイビング時の地面反力の発揮方向の変化が生じたと考えられる。

そこでどのように地面反力の発揮方向が変化するかという点について Transition における BS 脚の関節角度の推移をみると、いずれの試技も接地にかけて屈曲から伸展

へと変わっている様子がみられた。その伸展へと変わるタイミングに着目すると、Upper 試技は、接地直後から伸展が行われているのに対し、Lower 試技では、それぞれの関節の伸展のタイミングが他の試技よりも比較的遅くなっていた。また、Lower 試技では外転位から内転位へと変わっていく動きが特に大きくみられた。さらに Lower 試技では BS 脚股関節の内転トルクの角力積が他の試技よりも有意に大きな値であった。したがって、BS 脚はボールの高さに応じて、屈曲から伸展へと変わるタイミングを変え、それに伴う BS 脚股関節の内転トルクの発揮によって、ボール方向への BS 脚の傾きをコントロールすることで、地面反力を発揮する方向を制御していたと考えられる。

II. まとめ

これまで GK のダイビングについてパフォーマンス、地面反力の発揮の特性をまとめてきた。GK は、シュートを防ぐ際には第 2 章で示したように、限られた時間内にボールまで移動する必要がある。よってダイビングにおいては、「より遠く、より高く跳ぶ」ということではなく、「より短い時間で移動すること」が重要であり、いかに短時間で大きなパワーを発揮するか、また重心を移動させることができるかが課題であると考えられる。

したがってこれら第 2 章から第 4 章において得られた知見を総合的に検討し、GK のパフォーマンス向上のため、それぞれの脚が高さ・距離の異なるボールへのダイビングにおいて、地面反力を発揮する大きさと方向を制御するための、それぞれの脚による力発揮と動作にとって重要な点をまとめる。

(1) CS 脚による地面反力の発揮における大きさの制御

CS 脚によって発揮された地面反力は Initiation において試技間で有意な差がみられ、Transition では有意な差がみられなかったことから、Initiation における力発揮が CS 脚による地面反力の大きさの制御に関係していると考えられる。Initiation での CS 脚は下肢関節の屈曲による沈み込み時に反動動作をおこし、重心を拳上させるための準備の働きをしていたと考えられる。第 3 章より、この期間では、Upper 試技において Lower 試技よりも有意に大きな地面反力の力積と伸展トルクの角力積がみられた。一方、第 4 章の結果より、Upper 試技における CS 脚の接地時間は、Middle 試技と比べると有意な差がみられず、Lower 試技と比べると短かった。また股関節、膝関節では、Lower 試技において他

の試技よりも大きい屈曲の様子がみられ、足関節では屈曲の様子に高さによる差はみられなかった。すなわち Upper 試技においては大きな地面反力を発揮していたが、大きく沈み込みを行うことや、長い時間をかけて沈み込みを行うことが要因ではないということが明らかになった。

よって、Upper 試技では、Initiation において CS 脚が、大きな伸展トルクを発揮することにより、各関節のエキセントリックな活動によるパワーを増大させながら反動動作を行うことが重要であると考えられる。

(2) BS 脚における地面反力の発揮方向の制御

第 3 章における地面反力の値や地面反力ベクトルの方向および大きさの変化、第 4 章における CGV の推移より、ダイビングにおいて高さの違いを生む、すなわち地面反力の発揮方向を変える期間は Transition であったと考えられる。この期間の動作を検討したところ、BS 脚はいずれの関節も屈曲から伸展へと動作が変わっていた。しかし、Upper 試技よりも Lower 試技の方が、いずれの関節も屈曲から伸展へと変わるタイミングが遅くなっており、その差は約 0.1 秒であった。この伸展のタイミングの差が、地面反力の発揮の方向を制御し重心移動の方向を変えていく要因と考えられる。

Upper 試技では BS 脚は、接地後に伸展トルクと負の関節トルクパワーの発揮がみられ、プライオメトリクスの力発揮の向上が示唆された。すなわち、この局面においてエキセントリックからコンセントリックな活動への素早い切り替えを行うことによって、屈曲から伸展へと変わるタイミングをより早くすることができると推察される。その結果、進行

方向に対してブレーキの働きをし、さらに大きな鉛直方向の地面反力を発揮することができ、地面反力の発揮方向が上向きになると考えられる。

一方、Lower 試技では、他の試技と比べ、CS 脚の外転が続いている点と、BS 脚股関節の内転トルクが大きく発揮されている点の違いがみられた。これらの働きは、下肢をよりボール方向へと傾ける働きをし、その後の伸展のタイミングで発揮される力の方向が、よりボール方向へと向いたと考えられる。

よってボールの高さに応じてこれらの接地後の Upper 試技におけるエキセントリックからコンセントリックへの素早い切り替えからの伸展動作と、Lower 試技における BS 脚を傾けてからの伸展動作を使い分けることが、ボールの高さの違いに応じた重心のボール方向への直線的な移動にとって重要であると考えられる。

(3) BS 脚による地面反力の発揮における大きさの制御

既に Transition において、重心移動方向が各ボールの高さへ転換されており、Takeoff においては伸展トルクと正の関節トルクパワーが発揮されていたことから、Takeoff の力発揮は、重心をボール方向へ移動させる働きとなる。第 3 章では地面反力ならびに股関節、足関節の伸展トルクの角力積が、Upper 試技において大きな値を示しており、Takeoff における大きな地面反力の発揮が Upper 試技において重要であることは明らかである。

特に Far Diving では、遠くまでダイビングによって到達する必要があるため、かつ Near Diving より大きな重心の上昇がみられた。BS 脚はいずれのボールの高さにおいても、Far Diving の方が Near Diving より大きな地面反力の力積と角力積を発揮していた。しかし、

第4章で示したようにBS脚の接地時間は、高さ・距離の違いで有意な差がみられず、BS脚が力を加える時間はステップの有無に関わらず変わらないといえる。よってFar Divingでは、Near Divingと変わらない接地時間の中で、単位時間あたりに、より大きな地面反力を発揮する必要があった。また、Far Divingの方がNear DivingよりもBS脚接地時の衝撃力が大きく、0.1秒に満たない短時間で、大きな地面反力の上昇を示していた。この接地後の短時間において、負の関節トルクパワーが発揮されていたことから、Far DivingではBS脚において、エキセントリックな活動によって、短時間で衝撃力を吸収し、素早くコンセントリックな活動へと切り替えていたと考えられる。ただしFar Divingにおいては、Near Divingと比べてボールの高さの違いによる伸展のタイミングの差がみられなかった。

これらのことより、遠くのシュートに対してダイビングで向かう際には、ボールの高さに関わらず、エキセントリックからコンセントリックへの素早い切り替えを伴うプライオメトリクス的力発揮と、その後の股関節、足関節での大きな伸展トルク発揮が不可欠、かつ重要であると考えられる。

(4) トレーニングへの示唆

これまでのまとめを通して、GKのダイビングにおいて、大きな地面反力を発揮するために、エキセントリックからコンセントリックな活動への切り替えを伴う力発揮が重要であることが報告された。しかし力の発揮部位によって、エキセントリックからコンセントリックへの切り替えに要する時間や接地時間が異なっていた。したがって対象部位に適したトレーニングを実施するためには、それぞれの筋活動の発揮時間や接地時間が類似した

トレーニングを選択することが効果的であると考えられる(ラドクリフ・ファレンチノス, 2004). すなわち, ラドクリフ・ファレンチノス (2004) のデータを基に比較すると, **Near Diving** における **CS 脚**(エキセントリックの活動時間がおよそ 0.15~0.20 秒間であった) をトレーニングの対象とした場合は, スクワットジャンプが適当であると示唆される. また, **Near Diving** における **BS 脚**, ならびに **Far Diving** のそれぞれの脚 (エキセントリックの活動時間が 0.1 秒にみたない) を対象とした場合は, デブスジャンプやバウンディングが適当であると示唆される. また, ダイビングは横方向への移動を伴う跳躍動作であることから, 下肢の内外転動作を伴う, ラテラルジャンプなども有効なトレーニングであると示唆される. 実際のゲーム場面においては, あらゆる方向へダイビングで向かうことが想定される. したがってこれらトレーニングを組み合わせる実施することが必要であると示唆される.

Ⅲ. 今後への課題

今回の研究は、GKのダイビングにおけるシュートコースの違いに伴う移動の特性、地面反力の発揮特性、地面反力の発揮方向が変化していくメカニズムを検討した。その中で本研究では、コースの違いに応じてどのような差がみられるのかという点は明らかにすることができた。しかし、その中のどのような部分が、実際のパフォーマンス向上に深く影響を及ぼすのかということを明らかにし、より実践的な示唆を得るまでには至っていない。この課題については競技レベルの高い選手と、やや劣る選手との比較などが必要となり、今後の研究課題の1つであるといえる。

また、本研究において分析対象としたダイビングは、GKがコースを指示されてからボールに到達するまでの時間が0.8秒を超えていた(Table2-1)。したがって至近距離からのシュートに対する防御手段として想定される動作ではないため、それらに適応する動作については、異なる特性になると思われる。

さらに今回の実験においては静止球に対するダイビングを分析対象とした。実際のゲームでは、100 kmを超えるシュートに対処する必要があるため、その際に上半身も含めた動きを、下肢とどのように連動させるのかについても検討の余地があるといえる。しかしながら、実際に飛行してくるシュートへの対処を分析する上で、シュートを常に同じコース、同じ速さで供給することは非常に困難であるため、この点については実験設定の段階での新たな試案が求められる。

今後このような研究課題に取り組む上で、本研究の結果がGKのダイビングにおける基礎的メカニズムとして位置づけられることを期待する。

引用文献

- 阿江通良（1996）日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *J.J. Sports Sci.*, 15(3): 155-162.
- 阿江通良・藤井範久（2002）スポーツバイオメカニクス 20 講. 朝倉書店：東京, pp. 94-95.
- Asami, T. and Nolte, V.(1983) Analysis of powerful ball kicking.In: Matsui,H. and Kobayashi,K. (Eds.) Biomechanics VIII-B.Human Kinetics:Champaign,pp.695-700.
- 浅井 武・小林 一敏・榊原 潔（1982）サッカーのゴールキーピングにおけるダイビングについての力学的考察. 東京体育学研究, 9 : 11-14
- 浅井 武・布目 寛幸（2002）見方が変わるサッカーサイエンス. 岩波書店：東京, pp.65-71.
- Di Salvo, V., Benito, P. J., Calderon, F. J., Di Salvo, M. and Pigozzi, F. (2008) Activity profile of elite goalkeepers during football match-play. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 48(4), 443-446.
- ドナルド：大澤 真（訳）（2011）サッカー解体新書. スタジオタッククリエイティブ：東京, p133,181.
- Dooley,T. and Titz,C.(2011) Soccer Goalkeeper Training. Meyer & Meyer Sport: Maidenhead, p.8.
- Graham-Smith, P. and Lees, A. (1999) Analysis of technique of goalkeepers during the penalty kick. *Journal of sports sciences*, 19: 916.
- 磯川 政教・佐久間 春夫（1985）ゴールキーパーのセービング動作におけるバイオメカニクス的研究. 体力科学, 34:450-452.

加藤 好男 (2004) 中高生のためのサッカー講座 ポジション別スキルアップ GK 編. ベースボールマガジン社 : 東京, p28.

Kellis,E. and Katis,A.(2007) Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine*,6:154-165.

Kerwin, D.G. and Bray, K. (2006) Measuring and modelling the goalkeeper's diving envelope in a penalty kick. In: Moritz, E.F. and Haake, S. (Eds.) *The Engineering of Sport 6*. Springer: New York, pp.321-326.

Lees, A., and Nolan, L. (1998) The biomechanics of soccer: a review. *Journal of sports sciences*, 16(3), 211-234.

Lees, A., Asai, T., Andersen, T. B., Nunome, H., and Sterzing, T. (2010) The biomechanics of kicking in soccer: A review. *Journal of sports sciences*, 28(8), 805-817.

松倉 啓太・浅井 武 (2009) サッカーのゴールキーパーにおけるダイビング動作の到達可能範囲 . *体育学研究*, 54: 317-326 .

松倉 啓太・浅井 武 (2013) サッカーのゴールキーパーにおけるダイビング動作の力発揮特性 . *体育学研究*, 58: 277-296 .

Mulqueen,T. and Woitalla,M. (2010) *The Complete soccer goalkeeper*. Human Kinetics: Champaign, p.73.

永都 久典 (1980) サッカーゴールキーパーの動作分析 : P K時における GK の SAVING FORM についての基礎実験 (1). *城西大学教養関係紀要*, 4 : 47-52.

中屋敷 真・佐藤 捷・衣笠 隆 (1981) サッカーのゴールキーパーの構えについて. *日本体育学会大会号*, 32:639.

Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y. and Sakurai, S. (2002) Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34: 2028–2036.

ラドクリフ・ファレンチノス：長谷川 裕（訳）（2004）爆発的パワー養成プライオメトリクス．大修館書店：東京, pp. 19-20.

Sørensen, H., Thomassen, M. and Zacho, M. (2008) Biomechanical profile of Danish elite and sub-elite soccer goalkeepers. *Football Science*, 5, 37-44.

Sørensen, H., Thomassen, M. and Zacho, M. (2010) BIOMECHANICAL PROFILE OF SOCCER GOALKEEPERS. *ISBS-Conference Proceedings Archive* (Vol. 1, No. 1).

Spratford, W., Mellifont, R. and Burkett, B. (2009) The influence of dive direction on the movement characteristics for elite football goalkeepers. *Sports Biomech*, 8(3) :235-244.

Suzuki, S., Togari, H., Isokawa, M., Ohashi, J. and Ohgushi, T. (1988) Analysis of the goalkeeper's diving motion. In: Reilly, T., Lees, A., Davids, K. and Murphy, W.J. (Eds.) *Science and Football*. E&FN Spon : London, pp. 468-475.

Szwarc, A., Lipińska, P. and Chamera, M. (2010) The Efficiency Model of Goalkeeper's Actions in Soccer. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 2(2): 132-138.

玉井 朗・松本 光弘（1981）サッカーのゴールキーパーのダイビング動作における事前ジャンプ動作の効果に関する実験的研究．日本体育学会大会号, 32:646.

トンプソン・フロイド：中村千秋・土屋真希（訳）（1997）身体運動の機能解剖．医道の日本社：横須賀, pp. 91-93.

山口亮・浅井武・金達郎・百瀬公人.(2004) サッカーのタックルに関する基礎研究 (サッカー (2)). In ジョイント・シンポジウム講演論文集: スポーツ工学シンポジウム: シンポジウム: ヒューマン・ダイナミックス: symposium on sports engineering: symposium on human dynamics (Vol. 2004, pp. 306-309). 一般社団法人日本機械学会.

Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Human locomotion, 1: 36-41.

ウェルツシュ: 平野 淳 (訳)・加藤 好男 (監) (2005) サッカーゴールキーパーバイブル. カンゼン: 東京, p.70.

財団法人日本サッカー協会技術委員会 (2007) サッカー指導指針ゴールキーパー編. JFA テクニカルハウス: 東京, pp.26-27.

Zernicker, R. F. and Roberts, E. M. (1978) Lower extremity forces and torques during systematic variation of non-weight bearing motion. Med. Sci. Sports, 10:21-26.

謝辞

本論文の執筆にあたり、先ずアドバイザーコミッティーにおいて、浅井武教授には研究の手法や論文の執筆方法を始め、終始懇切丁寧な温かいご指導を賜りました。また、山田幸雄教授には研究計画に対する建設的な助言、そして多くの励ましのお言葉をいただきました。同じく中山雅雄准教授には、研究をより実践の場面に生かしていくための論述についてご指導をいただきました。7年間もの長きにわたる在籍期間にも関わらず、ご指導・ご支援を賜りましたことに心より感謝致します

そして副査である會田宏教授、小池関也准教授には、予備審査会からご指導いただき、お忙しい中、貴重なお時間を割いていただき両先生の専門分野に関わる内容、ならびに論文の記述方法に至るまで多くのご指導を賜りましたことに心より感謝致します。

さらに、本研究を行うにあたってご協力を頂きましたチームの被験者の皆様、コーチとしての在籍させて頂きながらも、大学院生としての活動にご理解いただいた横浜FC、ベガルタ仙台、柏レイソルの関係者の皆様、そしてご支援いただきました全ての方々に心より感謝の意を表します。

2014年3月 松倉啓太